

TRAITÉ D'OPTIQUE

PHOTOGRAPHIQUE

COMPRENANT LA DESCRIPTION DES

OBJECTIFS ET APPAREILS D'AGRANDISSEMENT

PAR

D. v. MONCKHOVEN.

AVEC FIGURES DANS LE TEXTE ET PLANCHES.



PARIS
VICTOR MA[illegible] ET FILS, ÉDITEURS
PLACE DE L'ÉCOL[redacted]
[redacted]
Déposé.



TRAITÉ D'OPTIQUE

PHOTOGRAPHIQUE.

Avis. — Nous demanderons et obtiendrons sans doute du lecteur quelque indulgence pour certaines fautes des gravures, car nous avons rencontré des difficultés vraiment insurmontables pour les faire exécuter telles quelles sont. Ces fautes, du reste, n'existent que dans quelques unes des bois intercallés dans le texte.

Deux traductions de ce petit livre seront publiées, la première *en langue anglaise*, par M. Hardwicke, éditeur, à Londres; la seconde *en langue allemande*, par M. Oscar Kramer, éditeur, à Vienne. Les éditeurs d'autres pays qui voudraient publier des traductions de ce volume, sont priés de transmettre leur demande à M. D. van Monckhoven, 41, Coupure, Gand.

Gand, imp. C. Annoot-Braeckman.

TRAITÉ D'OPTIQUE

PHOTOGRAPHIQUE

COMPRENANT LA DESCPRITION DES

OBJECTIFS ET APPAREILS D'AGRANDISSEMENT

PAR

D. v. MONCKHOVEN.

AVEC FIGURES DANS LE TEXTE ET PLANCHES.

PARIS
VICTOR MASSON ET FILS, ÉDITEURS
PLACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE
MDCCCLXVI
Déposé.

AVANT-PROPOS.

Exposer nettement sur quels principes sont construits les instruments d'optique dont se servent les photographes, tel est le but de ce petit volume. Les traités de physique, nous dirons même plus, les traités d'optique sont muets sur ces instruments et sur des termes qui se trouvent journellement dans la bouche des photographes, tels que : *foyer chimique*, *profondeur de foyer*, *distortion*, etc. C'est que l'optique moderne n'a eu jusqu'ici pour objet que l'étude des objectifs de lunette ou de microscope, objectifs qui n'admettent jamais, comme les lentilles photographiques, des pinceaux très-obliques à leur axe principal. Il s'en suit que l'on a seulement étudié celles des aberrations qu'il faut détruire dans ces objectifs, à savoir : l'*aberration sphérique* et l'*aberration chromatique*. Tout au plus les

autres aberrations, à savoir : la *distortion*, la *courbure du champ*, l'*astigmation* ont-elles été, de la part de quelques auteurs, tels que Airy et Gauss, qui les ont étudiées par rapport aux *oculaires*, l'objet de quelques rares mémoires, dont ne parle du reste élémentairement aucun ouvrage de physique ni d'optique.

Ce volume se divise en deux livres, le premier (et c'est le principal) comprenant l'optique des objectifs photographiques; le second, celle des appareils d'agrandissement.

Le premier livre est divisé en chapitres dans lesquels nous décrivons les préceptes d'optique générale. Nous nous arrêtons surtout sur les points imparfaitement connus ou qui ont un rapport direct avec la photographie, tels que l'action chimique de la lumière; les images produites par les petites ouvertures; l'absorption de la lumière par les milieux transparents; le pouvoir réflecteur des miroirs; la position du maximum d'action chimique du spectre sur les substances sensibles à la lumière; l'achromatisme photographique; la fabrication des lentilles; la loi des foyers conjugués et la grandeur des images au foyer des lentilles; la détermination du foyer absolu des lentilles simples ou de systèmes optiques composés de plusieurs lentilles, etc.

L'étude des cinq aberrations offrant le plus d'intérêt, a été de notre part l'objet d'un soin particulier.

Un point rayonnant (de couleur simple) étant situé à l'infini et sur l'axe d'une lentille convergente, émet des rayons parallèles qui en émergeant de la lentille ne concourent pas à un même point de l'axe, aussi l'image du point est-elle entourée d'un cercle de lumière diffuse nommé *cercle d'aberration sphérique*. Le point est-il situé de quelques degrés hors de l'axe, le cercle d'aberration devient elliptique, et le point est-il situé très-obliquement, l'image du point prend la forme d'une comète. Nous avons examiné avec soin les conditions nécessaires pour réduire cette aberration sphérique au minimum par l'emploi du diaphragme, ou mieux, par l'adjonction à la lentille convergente d'une lentille divergente de rayons de courbure appropriés qui rend l'ensemble *aplanétique*, c'est-à-dire exempt d'aberration sphérique suivant l'axe.

Le point rayonnant n'est-il pas de couleur simple, est-il blanc, par exemple, pour un rayon incident tombant sur la lentille il y a plusieurs rayons réfractés de couleur différente qui coupent l'axe en des points différents, phénomène qui a reçu le nom d'*aberration chromatique* et que l'on corrige par l'adjonction à la lentille convergente d'une lentille divergente formée d'une autre espèce de verre de rayons de courbure convenables. Mais une lentille *achromatique* pour les rayons incidents parallèles à son axe ne saurait l'être pour les rayons obliques à cet axe et l'opticien doit dès lors

résoudre le problème de réduire l'aberration chromatique au minimum pour le dernier cas, tout en l'annullant pour le premier, ce que nous examinons en détail.

Si au lieu d'un point rayonnant placé à l'infini, nous prenons pour exemple *un plan* situé à l'infini, et si nous réduisons la lentille à son centre optique, nous trouverons que l'image, au foyer de la lentille, ne saurait être reçue sur un plan, mais qu'il faudrait la recevoir sur une *surface courbe*. C'est l'*aberration de forme* ou *courbure du champ*. De plus, les deux méridiens de la lentille ont, pour les pinceaux obliques à son axe, des distances focales différentes, de là *deux champs courbes* différents, aberration qui a reçu le nom d'*astigmation*.

Enfin, une dernière aberration résulte de l'épaisseur de la lentille et de la position du diaphragme dont l'effet est de courber dans l'image les droites de l'objet à reproduire, aberration qui a reçu le nom de *distortion*.

Toutes ces aberrations sont dites *positives* lorsqu'elles s'appliquent aux lentilles convergentes simples, *négatives*, aux lentilles divergentes simples. Toutes se corrigent dans un système optique (qui dans la pratique, est toujours convergent) composé d'un assemblage de lentilles divergentes et convergentes, mais, les corrections peuvent être outrepassées ou insuffisantes et alors les aberrations peuvent être, pour un système optique convergent, soit positives, soit négatives.

L'étude des aberrations est suivie de celles des objectifs photographiques que nous divisons en deux classes : *objectifs aplanétiques* qui donnent des images nettes sur une faible étendue de plan focal avec leur ouverture entière, et *objectifs non-aplanétiques* qui ne donnent des images nettes qu'à la condition d'être limités par un diaphragme à une très-petite fraction de leur ouverture, mais qui généralement embrassent un grand angle et étendent par conséquent l'image nette à une grande étendue de plan focal.

Beaucoup de nouveaux objectifs non-aplanétiques ont été produits dans ces dernières années, mais nous en condamnons formellement l'introduction parmi les photographes, et les regardons, non comme un progrès, mais comme un pas en arrière, et cela pour les motifs suivants :

La pratique de la photographie a établi que lorsque l'image au foyer d'une lentille manque d'intensité, la reproduction photographique de cette image manque elle-même de relief, les premiers plans étant trop noirs, les objets situés à l'horizon se confondant avec le ciel, et les nuages du ciel étant remplacés par un plan uni d'une teinte uniforme. L'épreuve en un mot manque de perspective aérienne, et, si c'est un portrait, de vigueur et de relief. Or, les objectifs non-aplanétiques exigent pour donner des images *nettes* des diaphragmes forts petits,

et généralement de $f/40$ à $f/72$, f étant leur distance focale, de là une intensité insuffisante dans l'image et le défaut que nous venons de signaler. Mais exempts de distortion et embrassant un angle considérable, ils conviennent dans quelques cas spéciaux, tels que la reproduction des cartes, des monuments situés à une très-faible distance, ou des paysages et des monuments éclairés fortement par un soleil ardent.

Les objectifs aplanétiques, à la tête desquels nous citerons le *triplet*, embrassent un angle moins grand, mais n'exigent point des diaphragmes supérieurs à $f/30$, aussi donnent-ils des épreuves photographiques plus artistiques, dans lesquelles les premiers plans et les horizons sont bien fouillés, et les ciels avec nuages. La lumière est-elle insuffisante, on les emploie avec un diaphragme plus grand et la finesse de l'image n'est pas détruite comme avec les objectifs non-aplanétiques, mais seulement limitée à une moindre étendue de plan focal. Ils peuvent servir pour des portraits en plein air, des groupes, des reproductions animées avec leur ouverture entière, avantage que la pratique rend inappréciable. Enfin, l'angle qu'ils embrassent étant compris entre 50 et 60 degrés est plus que suffisant, parce que si cet angle est plus considérable, l'effet de la perspective est sans doute étonnant, mais peu agréable à l'œil.

Dans notre opinion donc l'usage des objectifs non-aplané-

tiques tels que l'*objectif simple*, le *globe-lens*, le *doublet de M. Ross*, celui de *M. de Steinheil*, est à abandonner, (sauf quelques cas spéciaux que nous avons énumérés plus haut), pour les objectifs aplanétiques parmi lesquels le *triplet* est le meilleur comme étant exempt de distortion.

Pour les portraits, le seul objectif possible est le *doublet de Petzval*, mais nous pouvons dire dès à présent que bientôt cette forme sera elle-même abandonnée pour une nouvelle combinaison inventée par *M. de Steinheil*, de Munich, combinaison exempte des aberrations sphérique et chromatique suivant l'axe et obliquement à cet axe, de distortion et d'astigmation, et de plus réduisant la courbure du champ à une quantité beaucoup moindre[1]. Cet objectif, fruit d'immenses et ingénieux calculs, ne manquera pas, comme il le mérite à tous égards, d'attirer l'attention de tous les photographes.

Il ne suffit pas de posséder de bons objectifs, il faut savoir s'en servir, chose qu'ignorent quatre-vingt-dix-neuf photographes sur cent. Mal se servir d'un objectif c'est produire des portraits faux de perspective, des monuments et des maisons tombant dans la rue, etc. Nous indiquons, dans un chapitre spécial, comment un objectif doit être employé et dans quelles circonstances.

(1) L'auteur de cet ouvrage possède un de ces nouveaux objectifs dû à l'obligeance de M de Steinheil. Mais ces objectifs ne sont pas jusqu'ici dans le commerce.

Le second livre de cet ouvrage a trait aux agrandissements. Nous y examinons l'historique des appareils d'agrandissement, leur théorie, leur installation, leur maniement, l'application de l'héliostat et des lumières artificielles à ces appareils.

Nous y établissons nettement ce principe que l'origine du manque de netteté dans les images produites par la plupart des appareils d'agrandissement est due au cercle d'aberration des condensateurs qui éclairent le cliché à agrandir, qui a pour effet de produire des bourrelets de diffraction ou lignes multiples sur tous les contours nettement terminés de l'image agrandie. En détruisant ce cercle d'aberration, soit par l'emploi de condensateurs de faible diamètre, soit par celui de condensateurs aplanétiques, on détruit la production des bourrelets de diffraction et dès lors les images grossies sont d'une admirable netteté.

Tels sont les matières principales de ce petit volume qui certainement ne doit être considéré que comme le sommaire d'un Traité plus complet, mais qui, nous l'espérons, sera d'une certaine utilité pour l'amateur, le photographe de profession, le physicien, l'opticien, et en général pour toutes les personnes qui s'intéressent au progrès de l'optique moderne.

Gand, le 1er Mars 1866.

D. van Monckhoven,
Docteur en Sciences.

SOMMAIRE.

LIVRE I. — LES OBJECTIFS PHOTOGRAPHIQUES.

CHAPITRE I. — NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

CHAPITRE II. — RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE III. — CHROMATIQUE.

CHAPITRE IV. — LES LENTILLES.

SECTION I. — Définitions ayant rapport aux lentilles.

SECTION II. — Fabrication des lentilles.

SECTION III. — Loi des foyers conjugués et grandeur des images au foyer des lentilles.

CHAPITRE V. — DES ABERRATIONS.

CHAPITRE VI. — DESCRIPTION DES OBJECTIFS PHOTOGRAPHIQUES.

TRAITÉ
D'OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE.

LIVRE I.
LES OBJECTIFS PHOTOGRAPHIQUES.

CHAPITRE Ier.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

De la lumière. — Optique. — Quand nous approchons la main d'un calorifère, nous éprouvons une sensation particulière que nous appelons chaleur; lorsque notre oreille perçoit une sensation, nous la disons produite par un son ou un bruit; de même, si nous distinguons la couleur et le contour d'un objet, c'est que cet objet nous envoie de la *lumière*, car, dans l'*obscurité*, la présence de cet objet ne nous serait pas démontrée. *Le jour*, nous voyons aisément tous les objets que le hasard ou notre volonté nous fait rencontrer, parce que tous nous envoient de la lumière; mais la nuit, ces mêmes corps disparaissent. Il en résulte évidemment qu'ils ne brillent pas par eux-mêmes, et qu'ils empruntent leur lumière à une source que tout le monde sait être le soleil. En effet, quelques heures avant le lever de cet

astre, nous commençons à distinguer confusément les objets, et plus nous approchons de l'heure de ce lever, plus nous distinguons avec netteté tout ce qui nous entoure; enfin, quand son disque brillant apparaît sur l'horizon, la lumière inonde avec l'intensité la plus grande toutes les parties de l'espace que nous occupons. On conçoit donc, qu'il existe nécessairement entre le soleil et nous, un certain mode de communication dont nos yeux sont l'intermédiaire; c'est ce mode de communication qui constitue ce que l'on appelle la *lumière*.

Mais nous venons de le dire, par cela même qu'à la surface de notre globe les objets cessent d'être visibles avec la disparition du soleil au-dessous de l'horizon, il faut que la lumière, qui nous les montre si divers quant à leur aspect, soit susceptible de diverses modifications. Le soleil est blanc et, néanmoins, les arbres nous apparaissent verts, le ciel bleu et les monuments de cent autres teintes; n'est-il pas évident que, si la lumière blanche du soleil ne renfermait pas toutes ces couleurs, nous ne saurions les apercevoir? On appelle « *optique* » l'étude de tous ces phénomènes qui concernent la lumière.

Sources de lumière et leur intensité. — Le soleil brille d'un éclat qui lui est propre, les objets terrestres d'un éclat emprunté. Cela ne veut pas dire qu'à la surface de la terre il n'existe pas d'objets lumineux par eux-mêmes; ce serait là une grande erreur, car les substances matérielles deviennent lumineuses dès que leur température est assez élevée; ainsi, les becs de gaz, qui, la nuit, éclairent les rues de nos grandes villes, brillent d'une lumière propre, car ils sont visibles le jour comme la nuit, et aussi longtemps que l'on ne fait pas cesser la cause qui les produit. Les lumières artificielles sont du reste capables de produire des images photographiques aussi bien que la lumière du soleil ou celle des objets éclairés par cet astre, toutefois leur intensité étant relativement très-faible, leur action sur les substances est très-lente.

Parmi les sources de lumière artificielle dont les photographes

font usage lorsque la lumière du soleil ou du jour leur fait défaut (par exemple dans le cas de reproduction d'intérieurs de grottes, de cryptes d'église, etc.), nous citerons en première ligne la flamme obtenue par la combustion d'un fil de *magnésium*. Cette flamme est d'un éclat considérable et émet surtout un très-grand nombre de ces rayons chimiques dont nous parlerons tout à l'heure.

Un bâton de magnésie compacte (obtenu par la calcination du nitrate de magnésie) que l'on substitue au bâton de craie de la lumière Drummond, émet également une lumière très-vive, tout à fait comparable à celle émise par le magnésium en combustion.

La lumière électrique, quoique d'un éclat considérable, exerce peu d'action sur les surfaces photographiques. Cependant, la lumière obtenue par la lampe à mercure de **Way**, quoique moins vive que celle obtenue entre les cônes de charbon de la lampe électrique ordinaire, est beaucoup plus intense par rapport à ces surfaces.

Action chimique de la lumière. — Une plante encore très-jeune étant placée dans une cave, on remarque, à mesure qu'elle se développe, que toutes ses tiges se dirigent, non vers les ouvertures par où entre l'air, mais bien vers celles d'où vient la lumière. Il y a plus, les feuilles de cette plante au lieu d'être vertes comme celles de nos jardins, sont blanches ou légèrement jaunâtres. Mais si on l'expose au soleil, au bout de quelques heures ses feuilles auront verdi sous l'influence de la lumière solaire.

Le chlorure d'or dissous dans l'éther et exposé aux rayons solaires, se décompose lentement et dépose de l'or métallique.

Le chlorure d'argent blanc, noircit à la lumière en perdant du chlore.

Voilà donc des exemples de l'action chimique de la lumière. L'action n'est pas due à une élévation de température, car plaçant le chlorure d'argent, par exemple, dans un liquide dans lequel on plonge un thermomètre, on n'observe pas de changement de

température; d'ailleurs, ce chlorure reste blanc quand on le chauffe dans l'obscurité. La lumière a donc provoqué une véritable action chimique. La liste des substances sensibles à la lumière est extrêmement longue, et il est même à supposer, avec quelque apparence de vérité, qu'il n'existe peut-être pas une seule substance dans la nature qui ne soit pas affectée par la lumière. Ce changement n'est pas toujours apparent, mais souvent les propriétés chimiques sont changées. C'est ainsi que le *nitrate mercurique* soumis à la lumière, ne semble pas, à la simple vue, changer de propriétés. Cependant l'action de la lumière se décèle par les réactifs chimiques des proto-sels de mercure, qui forment une image là où la lumière a agi. La même chose peut se dire du bitume de Judée qui change à la lumière de manière à perdre sa solubilité dans ses dissolvants ordinaires.

Parmi les corps qui sont décomposés rapidement quand on les expose aux rayons solaires, nous citerons : les sels d'or, d'argent, de mercure, de chrôme, d'urane, et une très-grande quantité de substances organiques. Les *sels d'argent* sont presque tous décomposés plus ou moins rapidement quand on les expose aux rayons solaires. Presque tous ces sels sont blancs, mais il en existe aussi de rouges, de jaunes, de verts, et cette couleur exceptionnelle ne les préserve pas de la décomposition.

Ce qu'il y a de plus curieux, c'est que ce n'est pas la *partie éclairante* de la lumière qui agit chimiquement dans les exemples que nous venons de citer, car, un verre jaune clair, qui laisse fort bien passer la *lumière éclairante*, arrête au contraire la *lumière chimique*, c'est-à-dire celle qui décompose le chlorure d'or et le chlorure d'argent. Au contraire, un verre violet très-foncé, à travers lequel on voit à peine, n'intercepte presque pas les rayons chimiques, de sorte que le chlorure d'argent noircit presque aussi vite sous un verre blanc que sous un verre violet, mais point du tout derrière un verre jaune.

Marche de la lumière en ligne droite. — La lumière marche en ligne droite, c'est ainsi que nous cessons

d'apercevoir un objet dès qu'un obstacle se trouve placé entre cet objet et notre œil.

Un point lumineux *a* (fig. 1) lance des ***rayons lumineux*** *ab*, *ac*, *ad*, dans toutes les directions. Un ***pinceau*** *cab* est composé de plusieurs rayons *ab*, *ac*, partant du point lumineux *a*, et formant entre eux un angle *cab* *très-petit*. Un ***faisceau*** *bad* est composé de plusieurs pinceaux.



Fig. 1.

Généralement dans un pinceau bac, on considère les droites ab, ac, qui le terminent comme parallèles. Pour cela l'angle *bac* doit être très-petit, par exemple inférieur à un demi degré d'arc.

Chaque point d'un objet éclairé lance des rayons de lumière dans toutes les directions, aussi cet objet peut-il être vu par un grand nombre de personnes à la fois.

Ombre et pénombre. — Un obstacle placé devant un faisceau lumineux l'empêche de passer. Il en résulte une ***ombre*** qui occupe tout l'espace qui aurait été occupé par le faisceau intercepté. Expose-t-on, par exemple, la main aux rayons solaires à peu de distance d'un mur, l'ombre de la main se voit sur le mur. A mesure qu'on éloigne la main du mur, les contours de l'ombre sont moins nettement terminés. C'est que le soleil est, non pas un point lumineux, mais un disque d'un diamètre sensible dont chaque point produit une ombre. La vraie ombre de la main est cette partie de l'ombre qui ne voit aucune portion du disque solaire, et la ***pénombre*** ce contour mal terminé qui entoure l'ombre.

Fait-on entrer dans une chambre obscurcie un rayon solaire par un petit trou carré ou d'une toute autre forme, un écran placé très-près du trou en reçoit l'image par voie d'ombre, mais l'écran s'éloigne-t-il, l'image du trou disparaît par la pénombre et celle parfaitement ronde du soleil s'y substitue.

Images produites par les petites ouvertures. Effets de la diffraction. — Tout rayon lumineux qui

tombe sur un obstacle y forme une ***image,*** il l'éclaire donc. Il en est ainsi d'une réunion quelconque de rayons. Un objet lumineux, la flamme d'une bougie, par exemple, peut être considéré comme formé d'une infinité de points lumineux dont chacun envoie à notre œil un pinceau, de sorte que l'image de la flamme se forme dans notre œil. De même un objet extérieur, une église par exemple (fig. 2), peut être considéré comme formé d'une infinité de points lumineux dont chacun envoie des rayons à tous les objets environnants.

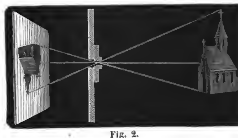


Fig. 2.

En effet, plaçons-nous vis à vis de cette église, dans une chambre obscurcie dont le volet est percé d'un petit trou dans la direction convenable. Nous verrons l'image de l'église se former renversée sur le mur opposé au trou. Car, les rayons émanant du sommet de la tour passent par le trou et vont *éclairer* l'écran de leur couleur propre, de même ceux émanant du mur, et ainsi de suite. Donc l'image de l'église se forme renversée sur le mur opposé. Si le trou percé dans le volet était très-grand, alors chaque point du mur opposé serait éclairé par un grand nombre de points différents et distants entr'eux de l'objet extérieur, toutes ces images se superposeraient et l'image serait diffuse. Plus donc le trou est petit, plus l'image est nette mais obscure, et inversément, plus il est grand, plus l'image est diffuse mais brillante. La grandeur de l'image dépend évidemment de la distance de l'église au trou, ou bien de celle de l'écran qui reçoit l'image au trou.

Quand l'objet extérieur possède un très-grand éclat lumineux et quand l'ouverture de la chambre noire est fort petite, par exemple si l'on reçoit dans la chambre noire l'image du soleil à travers une feuille mince de cuivre dans laquelle on a percé

un trou à l'aide d'une fine épingle, on s'aperçoit que cette image n'est pas nettement terminée mais entourée d'une série d'anneaux colorés qui en troublent le contour. Ce phénomène a reçu le nom de ***diffraction de la lumière***.

Corps opaques, translucides et transparents. — Un corps est ***opaque*** s'il arrête les rayons lumineux qui le frappent, ***transparent*** s'il les laisse passer librement. Il n'existe pas de corps absolument opaques ni absolument transparents. Les premiers réduits en lames suffisamment minces transmettent toujours une partie de la lumière qui les frappe, et les seconds, sous une grande épaisseur, arrêtent une partie de la lumière qui les traverse, ce qui constitue l'***absorption*** de la lumière par les milieux dits transparents. ***Translucides*** sont les corps imparfaitement transparents. Les métaux sont dits opaques; le verre, les silicates, les substances cristallisées, les liquides, les gaz sont en général transparents; les matières organiques à texture non cristalline, telles que le bois en couches minces, la corne, la baudruche, etc., sont translucides.

Absorption de la lumière par les milieux transparents. — Quand un pinceau lumineux tombe sur la surface d'un milieu transparent, une partie de ce pinceau est réfléchie, et en quantité d'autant plus grande que la surface du milieu est plus oblique par rapport au rayon incident, une autre partie est diffusée par le milieu, une troisième enfin est transmise. En supposant le rayon incident perpendiculaire à la surface du milieu, l'absorption dépend presque entièrement de la nature plus ou moins transparente du milieu, de son épaisseur et de sa teinte. Pour le verre, que l'on peut regarder comme sensiblement incolore, ***Bouguer*** a trouvé que pour une épaisseur de 6 lames de glace superposées formant une épaisseur totale de 26 millimètres seulement, l'affaiblissement de la lumière est dans le rapport de 10 à 3. Un tiers donc de la lumière est seulement transmis, mais dans ce cas la grande perte de lumière dépend surtout de la réflexion produite par les douze surfaces du milieu.

L'air lui-même arrête une certaine partie de la lumière émanée du soleil. ***Bouguer*** nous donne le tableau suivant de l'*intensité lumineuse du soleil à différentes hauteurs*, 10,000 serait l'intensité du soleil, si l'air était *absolument* transparent.

ALTITUDE DU SOLEIL.	INTENSITÉ.	ALTITUDE DU SOLEIL.	INTENSITÉ.
0°	6	20°	5474
1°	7	25°	6136
2°	192	30°	6613
3°	454	40°	7237
4°	802	50°	7624
5°	1201	70°	8016
10°	3149	90°	8123
15°	4333		

Ce tableau est très-instructif, en ce qu'il nous fait voir l'immense différence qui existe entre l'intensité du soleil en été et en hiver. Ainsi, à Paris, au 21 juin, la hauteur du soleil à midi est d'environ 64° 17′, son intensité est donc en chiffres ronds de 7,800. En hiver, le 21 décembre, cette hauteur est de 17° 43′, son intensité n'est donc plus que de 5,000, soit les 2/3 de ce qu'elle est en été. On suppose ici un ciel très-pur. Mais si l'on réfléchit que le plus souvent en hiver, dans nos climats, le ciel est toujours brumeux, on pourra aisément s'expliquer la grande différence que présente l'intensité de l'astre radieux de l'hiver à l'été.

Nous avons vu que les rayons chimiques de la lumière, c'est-à-dire cette partie de la lumière (bleu et violet) qui agit sur les surfaces photographiques, diffère de la partie éclairante (rouge et jaune) de la lumière. On en a un exemple bien frappant en recherchant l'absorption de la lumière chimique à travers les milieux très-transparents pour la lumière éclairante, le verre par exemple. On trouve tout d'abord que ***le poli*** plus ou moins parfait ***de la surface*** exerce une grande influence sur l'absorption. Plus le poli est parfait, moins l'absorption est

considérable, toutes autres choses étant égales d'ailleurs. Ceci s'explique par ce fait bien connu, qu'un verre **dépoli** arrête une grande partie des rayons chimiques de la lumière, or, une surface imparfaitement polie est une surface légèrement dépolie.

Secondement, l'absorption dépend beaucoup de la teinte du milieu.

C'est ainsi qu'un verre complètement incolore, comme le *flint* léger, laisse passer 2 et 3 fois autant de lumière chimique que le *flint* très-lourd qui est jaunâtre, et 1 1/4 fois autant que le *crown* ordinaire qui est verdâtre.

Quand les lames transparentes sont bien incolores, elles laissent passer à peu près toutes également la lumière chimique. C'est ainsi que des lentilles de même forme, en *quartz, sel marin, flint, crown,* ne donnent aucune différence comme transmission de lumière chimique (1).

L'épaisseur du milieu exerce une grande influence sur l'absorption de la lumière chimique (celle qui agit sur les surfaces photographiques). La loi découverte par **Bouguer** s'applique ici comme pour l'absorption de la chaleur rayonnante, à savoir, que les intensités du rayon transmis forment une progression géométrique décroissante, quand les épaisseurs forment une progression arithmétique croissante.

Si l'absorption était simplement proportionnelle à l'épaisseur

---

(1) L'auteur de cet ouvrage a fait construire par M. Secretan des lentilles de 1 pouce de diamètre sur 6 de distance focale, en flint, crown blanc, quartz incolore, sel gemme incolore, et les a comparées en les montant toutes ensemble sur une chambre noire et recevant l'image des objets extérieurs sur une même surface photographique. Les 4 images photographiques étaient d'intensité sensiblement égale. Si donc ces mêmes milieux ; ainsi que M. Allen Miller l'a prouvé, exercent un pouvoir absorbant différant sur certains rayons d'une très-haute réfrangibilité (et situés bien au délà du violet) cela ne veut pas dire qu'ils absorbent aussi différemment des rayons d'une réfrangibilité moins grande, tels que les rayons bleus, indigos, violets et n'infirme en rien le résultat de nos expériences.

du milieu, une lame très-épaisse de ce milieu serait opaque. En effet, prenons pour exemple l'eau de la mer. Si un mètre d'eau de mer absorbe un vingtième de la lumière incidente, alors vingt mètres absorberont les vingt vingtièmes, soit la totalité de cette lumière et à cette profondeur il y aurait une obscurité complète. Telle n'est pas la vérité. Si le premier mètre d'eau absorbe une partie de la lumière sur 20 parties incidentes il en reste 19 qui ont traversé ce milieu. Le second mètre n'absorbera que le vingtième de ces 19 parties, il en restera donc 18,05; le troisième mètre n'absorbera qu'un vingtième des 18,05 parties de lumière transmises par le second, et ainsi de suite, de sorte que, même y eut-il cent, mille, et même un million de mètres d'eau de traversés, encore resterait-il toujours une certaine quantité de lumière transmise, ce qui est en effet, conforme à l'expérience. Il s'en suit que dans une lame transparente très-épaisse ce sont les premières couches de cette lame traversées par la lumière incidente qui absorbent de cette dernière la plus grande partie, les suivantes en absorbant beaucoup moins.

Il s'en suit encore qu'étant données deux lames transparentes dont l'épaisseur de l'une est double de celle de l'autre, la première n'absorbera pas le double de la lumière incidente de celle qu'absorberait la seconde. Au contraire, l'absorption sera presqu'égale si l'épaisseur des lames ne dépasse pas quelques centimètres et si elles sont incolores.

Réflexion de la lumière. — Une surface est ***réfléchissante*** quand elle renvoie plus ou moins la lumière incidente qui la frappe. Tous les corps sont donc plus ou moins réfléchissants. Cependant on affecte vulgairement le nom de surfaces réfléchissantes aux surfaces *polies*. Mais même en frappant une surface parfaitement polie, un rayon de lumière ne s'y réfléchit qu'en partie. Une partie est absorbée par le milieu qui forme la matière à surface polie, une autre est diffusée, une troisième passe au travers si le milieu est transparent, et enfin une dernière est réfléchie.

L'étude de la réflexion de la lumière à la surface des lames polies porte le nom de ***catoptrique***. Soit AB (fig. 3) une surface réfléchissante plane, RO un rayon de lumière incident qui la frappe, il se relèvera réfléchi suivant OR' dans le même plan que le rayon incident, plan perpendiculaire à la surface réfléchissante, et faisant avec elle un angle R'OA égal à l'angle ROB. La *normale* NO est la droite perpendiculaire à la surface AB qui fait avec le rayon d'incidence RO et le rayon réfléchi R'O des angles égaux.

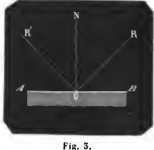


Fig. 3.

De cette manière on peut calculer la marche de la lumière réfléchie sur des surfaces géométriques quelconques, mais cette étude est complètement étrangère à l'optique des instruments photographiques.

Miroirs et leur pouvoir réflecteur. — Une surface métallique polie est appelée ***miroir***. La quantité de lumière réfléchie à la surface d'un miroir dépend de trois éléments : du degré de perfection de son poli, de sa couleur propre, de l'incidence des rayons lumineux qui le frappent.

Plus le poli est parfait, moins il y a de perte de lumière dans l'acte de la réflexion. Les surfaces métalliques se polissant très-difficilement et d'ailleurs se ternissant promptement à l'air, on leur substitue le plus souvent des lames de verre poli étamées au mercure ou mieux argentées. Dans ce cas, le métal participe de l'admirable poli que l'on donne si facilement au verre.

De la couleur du métal dépend, en grande partie, la couleur du rayon réfléchi et son intensité. Ainsi le cuivre, qui se polit difficilement et dont la couleur est rouge, réfléchit imparfaitement les rayons lumineux et leur communique sa teinte rouge, l'or sa teinte jaune. De tous les métaux le plus blanc est l'argent. C'est pour ce motif que les glaces argentées conviennent le mieux comme miroirs. Elles réfléchissent, suivant ***M. de Steinheil,***

les 90 centièmes des rayons incidents qui les frappent, tandis que les glaces étamées au mercure ne réfléchissent que les 65 centièmes. De plus, le seul emploi que l'on fasse en photographie des miroirs, consistant à renvoyer les rayons solaires dans les appareils d'agrandissement, et le soleil détruisant très-vite les glaces étamées au mercure, dont le mercure se réunit en gouttelettes, tout l'avantage est en faveur des glaces argentées.

Enfin plus la lumière tombe obliquement sur une surface réfléchissante, et moins elle perd de son intensité par la réflexion. Il y a plus; si elle tombe sous un angle très-aigu par rapport à la surface réfléchissante, elle se réfléchit *en entier*. On en a une preuve bien évidente en regardant un objet blanc, réfléchi par une lame polie de cuivre rouge ou d'or, cet objet paraît rouge ou jaune. Mais incline-t-on la lame de manière que le plan réfléchissant soit dirigé vers l'objet, de sorte que les rayons émanés de ce dernier rasent la lame, cet objet n'est plus coloré par la couleur de la lame, il est blanc. C'est qu'en effet *toute* la lumière émanée de l'objet est réfléchie, quelle que soit la couleur de la lame réfléchissante, il y a **réflection totale.**

Généralement on s'imagine que plus les rayons lumineux tombent perpendiculairement sur une surface réfléchissante, plus il a de lumière réfléchie. C'est donc le contraire qui est la vérité. Si l'on représente, en effet, par 100, l'intensité des rayons solaires tombant sous un angle de 60° à 90° (c'est-à-dire presque perpendiculairement) sur un miroir étamé au mercure, l'intensité des rayons solaires réfléchis est de 60, donc il y a eu 40 °/₀ de perte dans l'acte de la réflexion. Si au contraire les rayons solaires font avec le miroir un angle de 5 degrés seulement, l'intensité des rayons réfléchis est de 70, il n'y a donc que 30 °/₀ de perte. Avec les miroirs argentés, ainsi que nous l'avons vu plus haut, la perte est beaucoup moins grande.

Porte-miroirs. — Les instruments qui servent à réfléchir les rayons solaires dans les appareils d'optique sont désignés sous le nom de ***porte-miroirs***. Voici la description des deux modèles dont on se sert le plus fréquemment.

BCDE (fig. 4) est une plaque carrée de bronze ou de fer que l'on fixe à l'aide de vis J, I au volet d'une chambre obscurcie. Cette plaque est percée d'une ouverture ronde qui reçoit un disque également rond denté sur sa périphérie et percé au centre d'une ouverture circulaire. Afin que ce disque soit maintenu en place et ne puisse tomber on le recouvre d'un autre attaché à la plaque carrée. Un pignon à bouton F engrène dans les dents du disque circulaire et peut faire tourner celui-ci.

Au disque circulaire tournant est attaché une petite fourchette que l'on voit sous la lettre *a*. Le miroir A est fixé dans une petite roue dentée *a* dont l'axe est tenu par la fourchette. Un pignon, dont le bouton se voit en G, travaille sur la petite roue dentée *a*, de sorte que l'on peut donner au miroir toutes les inclinaisons imaginables par rapport au plan BCDE, et comme d'un autre côté le bouton F permet de faire tourner le disque auquel le miroir est attaché, il s'en suit que le miroir peut recevoir toutes les positions exigées.

Cet instrument, nous l'avons dit, se fixe au volet de la chambre noire. En tournant simultanément aux boutons F et G, on peut renvoyer les rayons solaires par l'ouverture du centre dans la chambre obscurcie et donner aux rayons réfléchis la direction désirée qui, le plus souvent est horizontale.

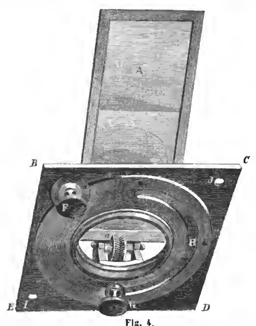


Fig. 4.

L'ouverture circulaire qui donne passage aux rayons réfléchis doit avoir le diamètre de la largeur de la glace, mais, quant à la longueur que doit avoir cette dernière pour réfléchir un cylindre de rayons solaires d'un diamètre égal à l'ouverture, elle dépend de l'orientation du volet et de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. L'orientation la plus convenable est celle dans laquelle le volet regarde le midi (*le Nord* dans les climats situés dans l'hémisphère *Sud :* aux Indes orientales, au cap de Bonne Espérance, etc.). La hauteur du soleil dépend de la latitude du lieu, plus cette latitude est élevée plus le miroir doit être long. Dans nos climats (du 40e au 60e degré de latitude) il suffit que cette longueur soit de 3 fois celle du diamètre de l'ouverture, pour que les rayons réfléchis par le miroir couvrent l'ouverture le printemps et l'été (du 1er Mars au 30 Septembre); mais en hiver, surtout du 50e au 60e degré de latitude, cette longueur est de beaucoup insuffisante et même un miroir dix fois plus long que la dimension indiquée plus haut serait encore trop court.

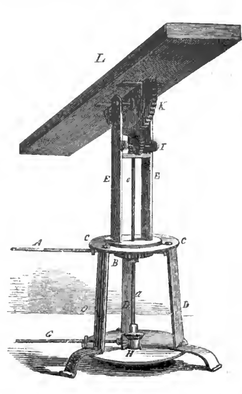


Fig. 5.

Le porte-miroir représenté fig. 5 est plus convenable pour

l'hiver, mais il exige une disposition toute particulière, une chambre obscurcie bâtie exprès dans un jardin ou sur une terrasse.

Cette chambre doit être très-basse, afin que les rayons solaires passent, *même en hiver*, au-dessus du toit qui la couvre, toit dont le sommet est dirigé vers le Sud, tandis que la partie la plus basse, élevée tout au plus de 6 pieds au-dessus du sol, regarde le Nord. Les appareils optiques ne sont plus dirigés vers le midi mais vers le nord, et c'est à 2 ou 3 mètres au nord du bâtiment que se place le porte-miroir, dont voici la description.

Le miroir L est carré ou mieux circulaire. Son diamètre doit être double de celui de la lentille sur laquelle les rayons solaires seront réfléchis. Ce miroir monté en bois est attaché à l'aide de 4 vis aux pattes du demi cercle denté K, dont l'axe (horizontal) tourne entre deux montants verticaux de fer. Une petite roue dentée I engrène avec le demi cercle et est placée un peu latéralement, car la tige *a* doit occuper l'axe vertical du pied du miroir, et c'est de la vis sans fin qui termine cette tige *a* que la petite roue I et par suite le demi cercle K, reçoivent leur mouvement.

Le pied fixe de l'instrument est constitué par le plateau de fer *cc* tourné sur sa face supérieure et sur sa face inférieure, du plateau de fer de fonte H, et des trois pieds D de fer ou de bois qui réunissent les deux plateaux.

La tige *a* est terminée à sa partie inférieure par une petite roue conique dentée, dont la partie inférieure tourne dans un coussinet fixé au plateau H. La tige horizontale G dont l'une extrêmité se rend dans la chambre noire où elle est terminée par une tête de clef que l'on meut à la main, et l'autre (celle que l'on voit sur la figure au-dessus de la lettre H) terminée par une roue dentée conique qui engrène avec la roue conique de la tige *a*, sert à transmettre le mouvement. En tournant donc la tige G, on communique le mouvement à la tige *a*, par suite aux roues I et K, de sorte que le miroir reçoit ainsi un mouvement dans un plan vertical.

Les deux montants E qui soutiennent le miroir sont fixés sur un plateau de fer tourné dont le rebord appuie sur la partie supérieure

du plateau *cc* qui présente une ouverture centrale circulaire égale à la moitié de son diamètre total. Le plateau qui porte les montants E peut donc tourner librement sur le plateau *c*, mais pour lui communiquer ce mouvement de la chambre noire, on lui superpose à sa partie inférieure un autre plateau B dont la circonférence dentée engrène avec la vis sans fin qui termine la tige A qui se rend dans la chambre noire. Le plateau C est donc serré (à frottement doux) entre le rebord du plateau supérieur et le plan du cercle denté B de sorte que le système des montants EE est solide. Les plateaux laissent du reste passer librement la tige *a*. Le miroir, outre le mouvement dans le plan vertical, a donc aussi un mouvement dans le plan horizontal, de sorte qu'il peut prendre relativement à un point donné toutes les positions imaginables.

La partie réfléchissante du miroir étant tournée vers le soleil, il suffit de communiquer de l'intérieur de la chambre noire aux tiges A et G un mouvement convenable pour réfléchir horizontalement les rayons solaires dans les appareils optiques.

Héliostats. — Les héliostats sont des porte-miroirs qui reçoivent leur mouvement d'une horloge de telle façon que les rayons solaires réfléchis restent immobiles dans une direction déterminée.

Comme la description minutieuse de ceux de ces instruments dont l'usage en photographie est important occupe un espace de ce livre assez considérable, nous en avons fait un chapitre spécial que l'on trouvera dans le livre qui traite des agrandissements (voyez la table des matières.)

CHAPITRE II.

RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE.

L'étude de la marche de la lumière dans les milieux transparents porte le nom de ***dioptrique***. Cette étude, fort compliquée, s'étend à tous les milieux imaginables, cristallisés ou amorphes, transparents ou opaques, liquides, solides, ou gazeux. Cependant nous n'avons à considérer et ne considérons dans cet ouvrage, qu'un ordre de milieux transparents, à savoir : les milieux non cristallisés, et plus spécialement le verre.

Réfraction de la lumière. — La lumière, par le fait de passer d'un milieu dans un autre se ***réfracte,*** *elle change de vitesse.* Si elle tombe *normalement* (c'est-à-dire perpendiculairement) sur la surface d'un milieu, elle continue dans ce milieu sa marche en ligne droite, quoiqu'étant réfractée. Mais si elle tombe obliquement, elle change de direction, elle est déviée de sa marche rectiligne. Comme exemple citons le cas d'un bâton que l'on plonge à moitié dans l'eau (fig. 6) et qui paraît brisé à son point de contact avec l'eau.

Le point que le rayon incident traverse à la surface du milieu ***réfractant*** (ou ***réfringent***) s'appelle ***point d'incidence*** ou ***point d'immersion.*** On lui donne le nom de point ***d'émersion*** ou ***d'émergence*** quand le rayon sort du milieu réfringent. L'angle que fait le rayon réfracté avec la ***normale*** (ou perpendiculaire) à la surface du milieu réfractant a reçu le nom d'***angle de réfraction.***

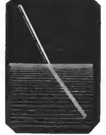


Fig. 6.

Loi de la réfraction. — 1° *Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale se trouvent dans un même plan.* 2° *Pour les deux mêmes milieux, le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est constant,*

quel que soit l'angle d'incidence. Cette loi a reçu le nom de loi de **Descartes.** Citons-en un exemple.

Un rayon lumineux RO (fig. 7) qui passe de l'air dans l'eau, se réfracte suivant OR' dans le même plan que le rayon incident. Si au point d'immertion O, où le rayon incident RO touche l'eau, nous élevons une perpendiculaire ou *normale* AB à la ligne *nm* qui représente la surface de l'eau, nous trouverons que le rayon réfracté s'en est rapproché. Inversément, un rayon R'O, passant de l'eau dans l'air, se réfracte suivant une direction OR qui s'éloigne de la *normale*. Pour l'air et l'eau, le rapport des sinus des angles ROA et R'OB est constant quelle que soit l'incidence du rayon RO.

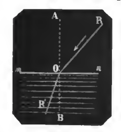


Fig. 7.

Indice de réfraction. — Si au lieu d'eau, nous nous servons d'essence de térébenthine, d'éther ou d'autres liquides, nous trouverons toujours pour le même liquide un rapport constant entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction, mais ce rapport diffère avec la nature du liquide et il est, par exemple, beaucoup plus grand pour l'éther que pour l'eau, aussi dit-on que l'éther est *plus réfringent* que l'eau. Ce rapport a reçu le nom d'***indice de réfraction***. Plus donc un milieu possède un grand indice de réfraction, (plus il est réfringent en d'autres termes) *et plus il dévie le rayon lumineux incident de sa direction primitive.*

Les traités de physique (1), et surtout les traités d'optique, contiennent les différentes méthodes à l'aide desquelles on mesure l'indice de réfraction des substances transparentes, ce n'est donc pas ici le lieu de décrire ces méthodes. Disons seulement que, (ainsi que nous le verrons plus tard) la réfraction de la lumière blanche est toujours accompagnée de *dispersion*, c'est-à-dire de décomposition, et que l'on prend d'ordinaire pour

(1) Voyez Daguin, *Traité de physique*, tome IV, page 155, (2e édition).

rayon réfracté le rayon qui correspond au jaune. Nous reviendrons du reste sur ce sujet.

Voici un tableau de l'indice de réfaction de quelques substances :

Vide	**0,000**
Diamant.	**2,47 à 2,75**
Flint-glass (1)	**1,57 à 1,60**
Cristal de roche	**1,547**
Verre de St. Gobain (crown) (2) . .	**1,5**
Eau congelée (glace)	**1,31**
Eau liquide (à 0°)	**1,333**
Eau liquide (à 20°).	**1,332**

Réfraction dans les lames transparentes à surfaces parallèles. — Soit (fig. 8) une lame réfringente à faces parallèles, une glace par exemple, et R un rayon de lumière incident qui la frappe. Sans la lame, le rayon poursuivrait sa route en ligne droite, mais, à son entrée dans le verre, il subit une déviation, se rapproche de la normale N, de laquelle, au sortir de la lame, il s'éloigne de nouveau. Or, puisque le verre, pris pour exemple, offre des faces parallèles, il s'en suit que les deux normales N et N′ sont également parallèles. Comme il est aisé de le concevoir, la déviation, au sortir du verre, est précisément égale à la déviation à l'entrée et le rayon R reste parallèle à R′; donc, *quand on place sur le trajet d'un rayon lumineux une lame réfringente à faces parallèles, ce rayon garde*

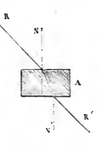


Fig. 8.

(1) Il existe des flint à base de plomb dont l'indice de réfraction est encore plus élevé que 1,6.

(2) L'indice de réfraction du crown varie aussi avec la composition du verre, le plus souvent il est supérieur à 1,5.

sa direction, tout en étant dérangé de sa position première. Il est évident que si le rayon tombait perpendiculairement sur le verre, par exemple suivant N, il sortirait non dévié puisqu'il se confondrait avec la normale.

Au lieu d'une lame de verre nous pouvons tout aussi bien prendre pour exemple une lame de cristal, de sel gemme, ou de toute autre matière transparente. En nous servant de ces matières, pour une même épaisseur et une même inclinaison de la lame par rapport au rayon incident, le déplacement sera variable, parce que le pouvoir réfringent de ces substances est différent.

Réfraction dans les prismes. — Voyons maintenant le cas des milieux réfringents à faces planes inclinées entr'elles, de pareils milieux ont reçu le nom de ***prismes***.

Ainsi (fig. 9), soit CAB un prisme, et Ro un rayon de lumière incident; en entrant dans le prisme, ce rayon va être *dévié* suivant oo' (à moins qu'il ne tombe perpendiculairement sur la face AC), puis, au sortir du prisme, il va de nouveau être dévié suivant o'R'. Les deux déviations à l'entrée et à la sortie sont identiques par rapport aux normales No, N'o' comme dans l'exemple de la lame à faces parallèles, mais comme ici les faces AC, AB font entr'elles un angle, les deux rayons Ro et o'R' feront également entr'eux un angle. Mais cet angle ne sera pas le même que celui CAB du prisme, car il dépend du pouvoir réfringent de la matière qui forme le prisme et aussi de la grandeur de l'angle CAB de ce prisme. Les prismes dévient donc vers leur base les rayons incidents qui frappent une de leurs faces.

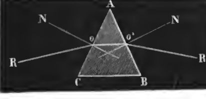


Fig. 9.

Construction graphique du rayon réfracté par le prisme. — Elle est très-facile quand on connaît l'indice de

réfraction de la matière dont est formé le prisme. Supposons-le par exemple de verre d'un indice de 1,5. Cet indice est absolu, c'est-à-dire exprimé par rapport au vide, or, comme le plus souvent le rayon lumineux a traversé l'air, il faudrait tenir compte de l'indice de réfraction de ce dernier, s'il n'était si faible, qu'on le néglige presque toujours.

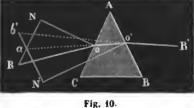


Fig. 10.

Tracez sur une feuille de bristol bien plane l'angle A (fig. 10) qui forme le sommet du prisme. Au point d'immersion o, tracez la normale N*o* perpendiculaire à la droite AC qui représente une des faces du prisme. Soit Ro le rayon incident faisant avec la normale N un angle donné. D'un point quelconque R du rayon incident abaissez sur la normale la perpendiculaire NR qui est le sinus de l'angle d'incidence NoR. Faites N*a* dans le rapport de l'unité à l'indice de réfraction, qui dans notre exemple est 1 à 1,5 ou 2 à 3. Donc je fais N*a* d'une longueur égale aux deux tiers de NR. Menez la droite *a*o qui représente le *rayon réfracté.*

En o', point d'intersection de *a*o prolongé avec AB (la seconde face du prisme), élevez la normale N'O' perpendiculaire à AB. D'un point quelconque *a* du rayon réfracté *ao'* abaissons sur la seconde normale N'*o'* la perpendiculaire *a*N' qui est le sinus de l'angle d'incidence. Prolongeons ce sinus jusqu'en *b'*, de sorte que *a*N' = 2 et N'*b'* = 3, tirons la droite *b'*o' qui, prolongée, fera o'R'. C'est le rayon émergent.

L'explication de ce tracé est simple. Il faut faire pour la face AB l'inverse que l'on fait pour la face AC ; or, RN est le sinus de l'angle d'incidence, N*a* le sinus de l'angle de réfraction. J'en connais le rapport, c'est l'indice de réfraction. Donc si je fais N*a* et NR de longueurs proportionnelles à ce rapport, j'obtiens évidemment le rayon réfracté *ao'*. J'opère de même, mais inversément, pour connaître le rayon émergent et j'obtiens O'R'.

Calcul du rayon réfracté. — Soit MN (fig. 11) le rayon incident, faisant l'angle d'incidence i avec la normale BND; NP le rayon réfracté, faisant l'angle PNC $= r$ avec la même normale; PQ le rayon émergent, faisant l'angle EPQ $= r'$ avec la normale PE à

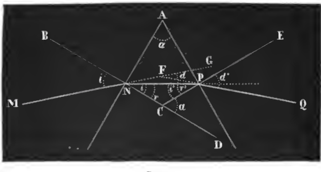


Fig. 11.

la 2e face; NPC $= i'$ l'angle d'incidence de NP avec cette normale, a l'angle du prisme et n l'indice de réfraction; le rayon incident MN prolongé va rencontrer le rayon émergent PQ en F, et l'angle GFQ de ces deux rayons sera l'angle de déviation d qu'il faut calculer.

Or, dans le triangle PFN, la somme FNP + FPN égale l'angle extérieur d, donc $d =$ FNP + FPN $= (i - r) + (r' - i') = (i + r') - (r + i')$; mais l'angle DCP des deux normales est égal à l'angle a du prisme; d'ailleurs dans le triangle NPC, la somme $r + i$ égale l'angle extérieur a; on a donc $d = i + r' - a$........ (1).

D'autre part, les lois de la réfraction donnent :

$$\text{Sin } r' = n \sin (a - r) \text{........... (2).}$$

$$\text{Sin } r = \frac{\sin i}{n} \text{................. (3).}$$

Les formules (1), (2) et (3) sont générales et permettent de calculer la déviation d'un rayon incident quelconque, situé dans un plan perpendiculaire à l'arrête du prisme; à cet effet, l'angle d'incidence i et l'indice de réfraction n étant connus, l'on déter-

minera au moyen de la formule (3) l'angle r; connaissant celui-ci et l'angle a du prisme, on calculera r' à l'aide de la formule (2), et dès-lors on connaîtra d par la formule (1).

Si l'angle a est très-petit et que le rayon incident soit à peu près perpendiculaire à la bissectrice de cet angle, alors i est aussi un angle très-petit; dans la formule (3), le rapport des sinus peut se remplacer par celui des arcs, et l'on a $r = \frac{i}{n}$; par le même motif, la formule (2) donne $r' = n\,(a - r) = n\,(a - \frac{i}{n})$ $= na - i$; et par conséquent la formule (1) devient

$$d = i + r' - a = i + (na - i) - a = (n - i)\,a$$

Si a étant très-petit, le rayon incident n'est pas à peu près perpendiculaire à la bissectrice, mais oblique; l'angle i cesse d'être très-petit, et le moyen le plus simple de calculer d est de faire usage des formules (1), (2) et (3).

CHAPITRE III.

CHROMATIQUE.

Jusqu'ici nous avons considéré la marche de la lumière dans les milieux transparents uniquement au point de vue géométrique, comme si un rayon de lumière incident ne donnait lieu qu'à un seul rayon réfracté. Cela est vrai si le rayon simple est ***homogène***, c'est-à-dire d'une ***couleur simple*** (nous verrons tout à l'heure ce qu'on entend par cette dénomination); mais, si le rayon incident est composé de lumière blanche, au lieu d'un rayon réfracté unique, on obtient après l'acte de la réfraction une infinité de rayons réfractés, phénomène qui a reçu le nom de ***dispersion***.

Le spectre solaire. — Dans une chambre noire convenablement obscurcie, faisons entrer, à l'aide d'un porte-miroir et par un trou circulaire de un centimètre de diamètre, un

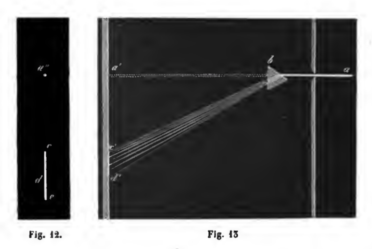


Fig. 12. Fig. 13

faisceau horizontal de rayons solaires *a* (fig. 13). L'image ronde du soleil ira se former sur le mur opposé au volet en *a'* (*a''* dans la fig. 12). Si, sur le trajet du rayon *aa'* nous plaçons un prisme de verre *b* dans la position indiquée par la figure, au lieu d'un faisceau de rayons solaires unique qui serait réfracté, nous obtenons en *cd'* (*cd* dans la fig. 12) une image allongée et colorée appelée ***Spectre solaire***. Ce *spectre* est composé des couleurs suivantes en commençant vers le haut : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet. Le rouge étant moins dévié que le violet est dit *moins réfrangible*. Chacune de ces couleurs est dite : « ***simple*** » parce que, si l'on en isole une à l'aide d'un disque en cuivre noirci percé à son centre d'un trou qui la laisse passer, et que l'on reçoit le faisceau sur un second prisme, le faisceau réfracté par ce dernier sera de la même couleur.

Les rayons colorés qui émergent du prisme sont inégalement réfrangibles, c'est-à-dire que s'ils tombent avec la même

incidence sur la surface d'un milieu réfringent, ils suivront, dans ce milieu, chacun une marche différente. Ainsi dans l'exemple de la réfraction d'un rayon incident par un milieu transparent cité page 33, si RO est un rayon rouge dont OR' est le rayon réfracté, OR' se rapprocherait davantage de la normale OB, si RO était violet parce que le violet est plus refrangible que le rouge.

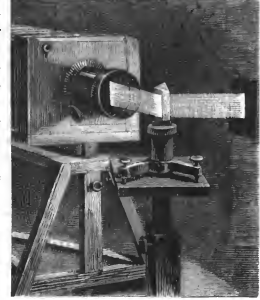


Fig. 14.

Quand on veut étudier avec soin la constitution physique du spectre solaire ou bien l'action du spectre sur les substances sensibles à la lumière, il est nécessaire, pour produire un spectre convenable, de prendre les dispositions suivantes :

Dans le volet d'une chambre complètement obscurcie (fig. 14), on place verticalement une plaque de cuivre à ouverture rectiligne très-étroite (pas inférieure cependant à un millimètre de largeur), et de deux ou trois centimètres de hauteur. On rend d'ailleurs les deux lamelles de cuivre qui la forment mobiles, pouvant s'éloigner ou se rapprocher suivant que le spectre doit être plus ou moins intense.

Les rayons solaires sont réfléchis horizontalement à travers cette ouverture rectiligne par un miroir plan en verre argenté et poli sur sa surface supérieure. Au besoin, un miroir ordinaire peut être employé, mais dans ce cas, une partie des

rayons chimiques de la lumière est absorbée par son passage à travers le verre du miroir.

Sur le trajet du rayon lumineux se place verticalement le prisme (dont la section est un triangle équilatéral) en flint, quartz ou tout autre matière transparente, monté sur un pied à trois vis. Le ruban lumineux doit tomber sur une de ses faces seulement (et près de son arête). On vérifie la verticalité du prisme en comparant la hauteur du spectre à celle de la fente au-dessus du plancher : ces deux hauteurs doivent être égales.

En tournant le prisme sur son axe (et sa monture est disposée de façon à permettre facilement un tel mouvement), on voit le spectre se rapprocher du rayon lumineux $a\,a'$ (fig. 15), et il arrive bientôt un moment où il s'en éloigne, même en tournant le prisme en sens inverse. Il y a donc une position du prisme, appelée ***minimum de déviation***(1), qu'il est essentiel de bien réaliser, sinon les couleurs du spectre seraient mélangées de lumière blanche.

Le spectre ainsi obtenu n'a pas de contour nettement défini, mais en le recevant dans un appareil photographique(2) à travers un objectif double comme le montre la fig. 14, on peut mettre la fente au point à travers le prisme et dès-lors il prend une forme rectangulaire. En faisant mouvoir la crémaillière de l'objectif, on peut mettre les différentes couleurs successivement au point (car elles ont toutes un foyer différent).

La chambre noire qui sert à recevoir le spectre doit pouvoir se raccourcir et s'allonger suffisamment et être supportée par un pied susceptible des mouvements nécessaires pour la placer hori-

(1) Dans ce cas, l'angle de dispersion est aussi faible que possible et le spectre aussi court que possible. Pour réaliser cette position du prisme, le rayon incident Ro (fig. 9) et le rayon émergent $o'R'$ doivent faire des angles égaux avec la bissectrice de l'angle A du prisme.

(2) Nous supposons ici le lecteur familiarisé avec les procédés pratiques de la photographie.

zontalement. Le châssis à glace dépolie aura environ 10 centimètres de hauteur sur 50 de large.

Le prisme doit toujours se placer le plus près possible de l'objectif.

Plus l'objectif et le prisme sont rapprochés de la fente, plus le spectre est large et long; et plus ils s'en éloignent, plus il est court et lumineux. Il en résulte, lorsqu'on fera des expériences sur l'action chimique du spectre avec des substances très-sensibles à la lumière, qu'on se servira de la première disposition, et avec celles, au contraire, peu sensibles, de la seconde. Dans le premier cas, le spectre doit avoir 3 ou 4 décimètres de longueur; dans le second, 1 décimètre, et même on élargira un peu la fente du volet.

Les diverses teintes du spectre solaire sont plus ou moins espacées suivant le pouvoir dispersif du prisme employé. Nous avons déjà désigné les couleurs principales dont il est formé, ajoutons que ***Sir John Herschel*** en a ajouté deux autres, assez difficiles à bien observer, mais qui se voient cependant si la chambre est bien obscurcie, ce sont, au-delà du rouge : le cramoisi; et au-delà du violet : le gris ou violet lavande (*crimson* and *lavander*).

Raies du spectre. — Quand on examine avec attention le spectre solaire produit comme nous venons de le décrire, on observe dans le sens de sa largeur une infinité de raies noires qui ont été découvertes par ***Wollaston*** et ***Frauenhofer***. Ces raies, pour la lumière solaire, et la même substance réfringente ont toujours le même ordre relatif, ce qui est précieux parce qu'elles servent à désigner exactement telle partie du spectre.

En effet, le passage d'une couleur à une autre étant insensible, la désignation de jaune, rouge, etc., est vague. On la rend précise en désignant la raie ou le groupe de raies qui caractérise exactement la place de telle partie du spectre que l'on veut désigner.

On trouve chez M. Sécretan, opticien, Pont Neuf, à Paris, une

figure lithographiée et colorée du spectre qui renferme toutes les principales raies du spectre avec leur désignation. Cette planche, qui a plus d'un mètre de longueur et dont le prix est de 6 francs seulement, est indispensable à toute personne qui étudie l'optique.

Action chimique du spectre. Rayons extra-prismatiques. — Nous avons déjà parlé de l'action chimique de la lumière page 19.

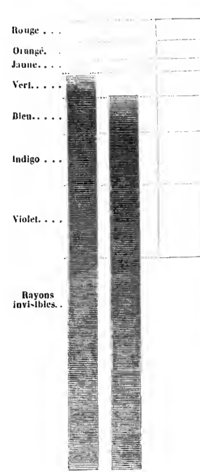


Fig. 15.

Si l'on expose pendant quelques minutes à l'action du spectre solaire maintenu immobile un papier au chlorure d'argent et si, de temps à autre, on interpose entre le spectre et le prisme un verre dépoli (ce qui permet de voir l'action successive de la lumière qu'autrement on ne verrait pas), on remarque que l'action commence dans l'indigo et le violet, puis se poursuit dans le bleu et bien au-delà du violet là ou l'œil ne distingue cependant aucune lumière. Dans le rouge, l'orangé, le jaune et le vert l'action est tout-à-fait nulle et le papier au chlorure d'argent y reste blanc.

En substituant au papier au chlorure d'argent un papier au bromure de même métal, l'action s'étend un peu dans le vert.

La figure 15 représente cette expérience. Le rectangle de droite figure les sept couleurs du spectre, désignées à gauche en

caractères d'imprimerie. Le rectangle noir de gauche représente un papier au bromure d'argent, et le rectangle suivant un papier au chlorure de même métal, papiers qui ont été soumis un temps très-long à l'action du spectre.

La plupart des substances sensibles à la lumière se comportent de la même manière. Cette expérience est de la plus haute importance pour l'optique photographique. Elle démontre d'abord que les couleurs les plus brillantes du spectre, celles qui se trouvent le plus répandues dans la nature, à savoir : le rouge, l'orangé, le jaune et le vert n'ont aucune action sur les substances sensibles à la lumière, que les couleurs les moins brillantes au contraire : le bleu, l'indigo et le violet ont, sur ces substances une action très-vive, (le maximum étant dans l'indigo) et enfin qu'il existe dans la lumière solaire des rayons invisibles pour notre œil qui ont sur les substances citées une action très-vive. Ces rayons invisibles ont reçu le nom de ***rayons extra-prismatiques.***

De la couleur des corps. — Les corps de la nature éclairés par la lumière solaire nous offrent toutes les couleurs imaginables. C'est que la lumière solaire ou celle des nuées qui les frappe est décomposée à leur surface : ils absorbent tous les rayons simples dont la lumière blanche est formée, excepté celle qu'ils réfléchissent. Les corps blancs réfléchissent tous les rayons incidents qui les frappent, les corps noirs les absorbent tous.

Cependant les corps colorés n'absorbent qu'une partie des rayons colorés qui les frappent, une grande partie de la lumière blanche qui les éclaire est réfléchie à l'état diffus et sans être décomposée. Ce sont surtout les corps rouges, jaunes et verts qui sont dans ce cas, et c'est grâce à cette propriété qu'ils se reproduisent sur les ***surfaces photographiques***(1). Les

(1) Nous adoptons ce terme pour désigner les surfaces d'iodure, de bromure de chlorure d'argent, etc., dont les photographes font usage et qui, comme on le sait, sont fort sensibles à la lumière (qui les noircit).

corps bleus et violets, qui, au contraire ne réfléchissent presque pas de lumière blanche, sont au contraire très-***photogéniques*** ou ***actiniques***(1).

Le bleu et le violet sont même si photogéniques qu'ils se reproduisent sur les surfaces photographiques comme s'ils étaient blancs. Le rouge et le jaune le sont si peu qu'ils se reproduisent comme s'ils étaient noirs. Il y a cependant des moyens pour modifier ce phénomène et faire en sorte que la reproduction des couleurs soit plus conforme à la vérité. (Voyez *Traité général de Photographie*, 5e édition, page 28).

Dispersion. — Nous avons déjà défini le terme ***Dispersion*** page 34. La dispersion des milieux réfringents se mesure sur la longueur du spectre qu'ils fournissent. C'est ainsi que le flint est dit plus dispersif que le crown parce que le spectre qu'il fournit est plus long que celui du crown.

La couleur jaune étant la plus brillante du spectre est celle qui se rapproche le plus du blanc comme intensité. C'est aussi la couleur du rayon que l'on a choisi comme rayon réfracté dans la mesure du pouvoir réfringent (indice de réfraction) des milieux transparents, le rayon incident étant blanc. Tous les indices de réfraction donnés par les tables sont donc trop élevés si l'on considérait comme rayon réfracté le rouge, et tous seraient trop faibles si l'on considérait le rayon violet comme rayon réfracté, puisque, sur le nombre infini de rayons réfractés auquel donne lieu un rayon blanc, le rouge est celui qui est le moins réfracté et le violet le plus.

Mais la quantité numérique dont tous ces indices sont trop élevés pour le rouge et trop faibles pour le violet varie avec la nature du milieu auquel l'indice se rapporte, puisque les différents milieux étalent plus ou moins les couleurs du spectre.

Le ***coëfficient de dispersion*** (ou simplement la ***dis-***

(1) Termes usités par les photographes pour désigner des rayons lumineux ayant une vive action sur les surfaces photographiques.

persion) d'un milieu se désigne par la différence entre l'indice de réfraction du rouge (ou du jaune dans l'optique photographique) avec l'indice du violet (de l'indigo dans l'optique photographique).

NUMÉROS.	DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	DENSITÉ.	INDICE DE RÉFRACTION
1	Flint lourd de Guinand à l'acide borique .	3,417	1,72339
2	Flint de Fraunhofer	2,135	1,63915
3	Flint de Bontemps.	2,011	1,62847
4	Flint ordinaire de Guinand	3,610	1,62750
5	Flint de Guinand à l'acide borique . .	4,522	1,62696
6	Verre de Vénise	2,713	1,53445
7	Crown de Guinand à l'acide borique. . .	2,362	1,53455
8	Crown de Dollond	2.484	1,53113
9	Verre de Maës à l'acide boriq. à base de zinc	2,835	1,52401
10	Crown de Bontemps	2,447	1,51921

NUMÉROS.	n_h	n_g	n_f	n_e	n_d	n_c	n_b
1	1,7637	1.7486	1,7520	1,7234	1,7144	1,7070	1,7049
2	1,6679	1,6573	1,6454	1,6391	1,6324	1,6272	1,6256
3	1,6558	1,6457	1,6346	1,6285	1,6222	1,6172	1,6154
4	1,6542	1,6443	1,6331	1,6273	1,6209	1,6160	1,6144
5	1,6539	1,6439	1,6328	1,6270	1,6205	1,6158	1,6140
6	1,5480	1,5433	1,5375	1,5344	1,5309	1,5284	1,5273
7	1,5478	1,5430	1,5374	1,5345	1,5311	1,5285	1,5275
8	1,5444	1,5393	1,5341	1,5311	1,5277	1,5247	1,5240
9	1,5466	1,5325	1,5271	1,5240	1,5207	»	»
10	1,5322	1,5275	1,5222	1,5192	1,5160	1,5134	1,5124

Ce tableau donne pour les dix verres ci-dessus les indices de réfraction des sept raies du spectre considérées par Fraunhofer.

Dans les traités de physique, l'indice de réfraction est désigné par la lettre n. Mais on désigne à côté par une petite lettre lorsqu'on veut avoir égard à la dispersion la couleur du rayon réfracté choisi pour l'indice de réfraction. Ainsi n_r, n_b, n_v, expriment l'indice du rouge, du bleu, du violet, ou bien, quand

on veut plus d'exactitude, à côté de n on désigne la lettre de la raie du spectre où l'on a choisi ce rayon réfracté.

Nous voyons plus loin dans quel but cela est nécessaire.

Les deux tableaux précédents donnent, le premier, les indices de réfraction de 10 espèces de verre, le second, l'indice variable pour chaque espèce de verre se rapportant à la raie du spectre désignée à côté de n.

L'**angle de dispersion** est l'angle dans lequel les différents rayons sont étalés. Le **pouvoir dispersif** est le rapport entre la dispersion et l'indice de réfraction promptement dit moins 1. Il s'écrit donc : $\frac{n_v - n_r}{n_j - i}$

Prismes achromatiques. — Un système de prismes est achromatique quand il dévie les rayons lumineux blancs sans les colorer.

On réalise un prisme achromatique (fig. 16) en associant à un prisme de crown ABDC un prisme de flint CDFE dont l'angle et la matière sont convenablement choisis. Imaginons dans un pareil système un rayon blanc incident RO

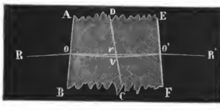


Fig. 16.

tombant sur la face AB du prisme en crown, le rayon réfracté sera multiple et or sera le rayon réfracté rouge et ov le rayon réfracté violet. A l'entrée du prisme de flint le rayon violet prendra la direction vo' et le rouge la direction ro', de sorte que le rayon émergent OR' sera incolore.

Il est à remarquer que le prisme composé sera achromatique pour le rayon RO ou tous les rayons de la même incidence, *mais le prisme composé ne serait plus achromatique pour les rayons d'une autre incidence.*

Proposons-nous de trouver les angles que doivent avoir deux prismes pour que leur réunion constitue un prisme

achromatique. Seulement comme cette recherche n'est que l'introduction à celle des lentilles achromatiques, nous supposerons l'angle a de ces prismes assez petit pour que la déviation D qu'ils produisent sur les rayons incidents soit égale à $(n-1)\,a$, n étant l'indice du réfraction dont ils sont formés. De plus, nous supposerons que les rayons les traversent à peu près perpendiculairement au plan bissecteur de leur angle a.

Nous avons pour la déviation D du rouge dans les deux prismes accolés :

$$D=(n_r-1)\,a+(n'_r-1)\,a',$$

n_r étant l'indice de réfraction du rouge du premier prisme dont l'angle est a, n'_r celle du second dont l'angle est a'.

Pour la déviation D' du violet nous avons :

$$D'=(n_v-1)\,a+(n'_v-1)\,a'.$$

Ces déviations devant être égales nous avons :

$$(n_r-1)\,a+(n'_r-1)\,a'=(n_v-1)\,a+(n_v-1)\,a',$$

d'où

$$[1]\ldots\quad \frac{a'}{a}=\frac{n_r-n_v}{n'_v-n'_r}.$$

L'angle a est connu puisqu'il est choisi arbitrairement, a' sera donc négatif (c'est-à-dire que le second prisme doit être renversé par rapport au second) car n_r-n_v est négatif tandis que $n'_v-n'_r$ est positif.

Mais si le *pouvoir dispersif* de ces deux prismes est peu différent, leur réunion formera une lame à faces sensiblement parallèles qui ne deviera presque pas les rayons lumineux, ce qu'il faut éviter.

Ecrivons donc

$$\frac{D}{(n_r-1)\,a}=1+\frac{n'_r-1}{n_r-1}\,\frac{a'}{a}.$$

Or, si nous considérons que l'expérience prouve que le jaune

est toujours très-rapproché du rouge dans le spectre solaire, que par conséquent n_r est sensiblement égal à n_j, nous pouvons écrire :

$$\frac{D}{(n_r - 1)\,a} = 1 + \frac{n'_j - 1}{n_j - 1}\,\frac{a'}{a}.$$

Remplaçant $\frac{a'}{a}$ par sa valeur ci-dessus, et désignant par p et p' les pouvoirs dispersifs $\frac{n_v - n_r}{n_j - 1}$ et $\frac{n'_v - n'_r}{n'_j - 1}$ des deux prismes, il vient :

$$[2] \ldots\ D = a\,(n_r - 1)\left(1 - \frac{p}{p'}\right).$$

Cette valeur D serait encore nulle si les pouvoirs dispersifs p et p' étaient égaux ou peu différents, mais comme dans la pratique on choisit les verres que l'expérience démontre convenir pour cet objet, à savoir : un crown incolore très-peu dispersif mais fortement réfringent et un flint léger (1), très-incolore et assez fortement dispersif.

Les formules précédentes donnent donc, la première [1] l'angle relatif des deux prismes, la seconde la déviation que leur association produira sur les rayons incidents. Un rayon blanc émergera sensiblement blanc d'un tel prisme composé qui sera donc achromatique.

Achromatisme photographique *ou* **actinisme.** — Mais pour la photographie les formules précédentes doivent subir une légère modification, car les deux espèces de rayons qu'il faut faire coïncider ne sont pas le rouge et le violet, mais le jaune, couleur dominante du spectre, et l'indigo, où se trouve le

(1) Les flints lourds conviendraient mieux, mais ils sont généralement colorés en jaune, ce qu'il faut avant tout éviter dans les objectifs photographiques.

maximum de l'action chimique du spectre. Les pouvoirs dispersifs doivent donc s'écrire

$$\frac{n_i - n_j}{n_j - 1} \quad \text{et} \quad \frac{n'_i - n'_j}{n'_j - 1}$$

et la formule première [1] devient

$$\frac{a'}{a} = \frac{n_i - n_j}{n'_i - n'_j} .$$

C'est ce qui force les opticiens à choisir pour les instruments photographiques des crowns et des flint spéciaux, et autres que ceux que l'on recherche pour les objectifs astronomiques.

En tous cas, jamais l'achromatisme prévu par le calcul n'est exact, parce qu'il faudrait pour cela connaître rigoureusement les indices de réfraction et les pouvoirs dispersifs ce que les méthodes usitées pour cet objet ne donnent point. De plus, l'angle du prisme devrait être *infiniment* petit (et il a toujours un angle relativement grand) et enfin les rayons incidents n'ont pas une direction constante parallèle au plan bissecteur de l'angle des prismes. Mais l'opticien modifie par le tâtonnement les résultats fournis par le calcul.

Avec deux prismes on ne peut achromatiser que deux couleurs, trois tout au plus en choisissant bien le flint et le crown, car pour obtenir l'achromatisme complet il faudrait que les rapports de dispersion des substances dont les prismes sont formés, fussent égaux dans toutes les parties du spectre, et jusqu'ici de pareilles substances n'ont pas été découvertes. Mais deux prismes convenablement choisis d'angle et de matière conviennent suffisamment pour la pratique.

CHAPITRE IV.

LES LENTILLES.

Section I. — *Définitions ayant rapport aux lentilles.*

Lentilles convergentes et divergentes. — Les lentilles sont des milieux transparents terminés par des surfaces sphériques dont l'intersection est une ligne sans épaisseur sensible. La dernière condition est importante, autrement on aurait un prisme à surfaces sphériques, et non une lentille.

Les lentilles se divisent en deux classes bien distinctes. La première comprend les ***lentilles convergentes*** plus épaisses à leur partie centrale que sur leurs bords; les secondes, ***divergentes***, plus minces au contraire à leur partie centrale que sur leurs bords.

La figure 17 représente en coupe les différentes espèces de lentilles, les trois supérieures sont divergentes, les trois inférieures convergentes. La première (celle de gauche) est ***bi-concave***; la seconde, ***plan-concave***, la troisième a reçu le nom de ***ménisque divergent***. La quatrième est ***bi-convexe***; la cinquième, ***plan-convexe***; la sixième est un ***ménisque convergent***.

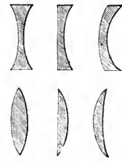


Fig. 17.

Axe principal et centre optique des lentilles. — La droit aa' (fig. 18) qui joint les ***centres de courbure*** a et a' des surfaces sphériques d'une lentille est l'***axe principal*** de la lentille. Si l'une des faces de la lentille est plane, l'axe principal passe par le centre de courbure de la face sphérique et est perpendiculaire à la face plane.

Pour toute lentille, il existe un point situé sur l'axe principal

tel, que tout rayon incident qui le traverse ne subit pas de déviation. Ce point est le ***centre optique*** de la lentille.

Pour trouver le centre optique d'une lentille (fig. 18), par les centres de courbure *a* et *a'* de ses surfaces menons deux rayons de obliques à *a'b* parallèles entr'eux mais courbure *ab'* et l'axe principal *aa'* et joignons leurs extrémités *bb'* par une droite qui coupera l'axe principal en *c*, point qui est le centre de courbure.

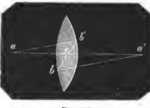


Fig. 18.

Si la lentille est un ménisque prolongez la droite *bb'* jusqu'au point où elle rencontre l'axe principal qui sera le centre de courbure.

La même construction donne le centre optique des lentilles biconcaves et des ménisques divergents. Quand aux lentilles plan-convexes et plan-concaves, le centre optique se trouve déterminé par l'intersection de la surface sphérique avec l'axe principal.

On appelle ***axe secondaire*** une droite passant par le centre optique de la lentille et faisant un angle plus ou moins grand avec l'axe principal.

Section II. — *Fabrication des lentilles* (1).

Fabrication du verre d'optique. — Ce qu'il faut avant tout pour faire les lentilles, c'est un verre bien homogène, exempt de stries, parfaitement incolore et transparent. Les bulles, raies, et même la présence de poussières dans le verre, ne font qu'intercepter une portion de lumière proportionnelle à leur étendue, tandis que les stries sont l'indice

(1) Pretchl. *Praktische Dioptrik.* Wien, 1828.
Smith. *Treatise on optics.* Ouvrage traduit en français (1767).
Laboulaye. *Dictionnaire des arts et manufactures*, Tome II, article *verre.*
Herschel. *Traité d'optique*, traduit par Quételet.
Herschel. *The telescope. Encyclopédie britannique*, 1861.
H. Rapin. *La lunette d'approche.* Lausanne, 1861.

certain d'un mélange imparfait des substances constituant le verre et produisant des réfractions inégales. Ces stries sont comparables à celles produites par le mélange de deux solutions de densité inégale comme l'eau gommée et l'eau pure, l'alcool et l'eau, etc. Le meilleur moyen pour voir si une lentille de verre est exempte de stries, est de la monter dans un cadre de bois que l'on fixe au volet de la chambre noire de manière qu'elle reçoive la lumière du jour. L'œil étant placé au foyer de la lentille, les moindres stries s'aperçoivent facilement. On peut encore découvrir les veines en regardant le verre très-obliquement dans une chambre bien obscurcie vis à vis d'une lumière faible.

La transparence du verre est une condition essentielle pour une lentille. S'il y avait dans son épaisseur des nébulosités, elle ne serait d'aucun usage. Elle doit aussi être incolore. Certains verres sont jaunâtres (surtout le flint), rougeâtres ou verdâtres (le crown), et arrêtent ainsi une partie considérable des rayons chimiques de la lumière, surtout les verres jaunâtres et rougeâtres.

Il existe de grandes difficultés pour obtenir des disques de verre de grande dimension, bien exempts de stries. Cependant aujourd'hui une grande partie de ces difficultés a été vaincue, et l'on trouve, pour les usages de la photographie, des disques de crown au prix de 5 à 6 francs le kilogr. et des disques de flint au prix de 14 francs le kilogr.[1] pour des dimensions de 1 à 6 pouces de diamètre. Le crown plus commun coûte de 3 à 6 fr. le kil. mais alors il est verdâtre et contient toujours quelques stries surtout dans les disques de grande dimension.

Bontemps et ***Guinand*** sont les deux fabricants de verre

---

(1) Chez M. Sautter, fabricant de phares, avenue Montaigne, à Paris. Aussi chez Chance et Cie, à Birmingham. Les fabricants français se servent généralement du verre de la première fabrique, les fabricants anglais du verre de la seconde. Mais beaucoup d'opticiens étrangers demandent déjà du verre à la fabrique française dont les prix sont moins élevés et la matière très-parfaite.

d'optique qui ont le plus fait faire de progrès à cette branche de l'industrie.

Les creusets dont on se sert pour la fusion du verre d'optique sont en terre réfractaire choisie, pouvant recevoir une charge d'environ 250 kil., couverts, pour éviter la fumée, ayant un peu la forme de cornues à col très-court.

Le four est à voûte et susceptible d'être porté à une très-haute température. Le creuset bien couvert est d'abord chauffé à blanc dans le four, puis, quand le charbon ne donne plus de fumée, on charge successivement 10, 20, 40 kil. de matière et chaque fois on rebouche le creuset pour éviter la fumée (en n'enfournant que lorsque le charbon ne donne plus de fumée). Au bout de 8 à 10 heures l'enfournement se trouve terminé. Le creuset étant alors chauffé à blanc pendant 4 heures, on brasse la matière quelques minutes avec une tige de terre réfractaire attachée à son extrémité supérieure à une barre de fer. D'heure en heure et six fois on recommence le brassage, toujours en évitant la fumée. Enfin, on diminue le feu pour que les bulles de la masse fondue montent à la surface. Au bout de deux heures on remet le four en pleine activité pendant cinq heures, le verre reprend ainsi sa fluidité. On le brasse alors deux heures, on ôte le cylindre du creuset qu'on bouche, ainsi que les diverses ouvertures du four, puis on laisse refroidir, ce qui dure huit jours. Le creuset est enlevé, cassé, la masse de verre divisée en fragments. L'opération est la même pour le flint et le crown.

Les fragments divisés de la masse de verre sont examinés et triés. Les plus purs servent aux objectifs d'astronomie, la qualité suivante aux objectifs photographiques, une troisième pour les lentilles ordinaires, le reste est du déchet que l'on réunit aux fontes suivantes.

Les fragments sont alors ramollis dans une sorte de mouffle, et on en fait des plaques carrées d'une épaisseur variable (de 1/2 à 2 pouces communément).

Les plaques destinées aux objectifs d'astronomie sont rodées au

sable mouillé dans des bassins de fonte, jusqu'à leur donner à peu près la forme indiquée par la théorie, quant aux autres plaques elles sont ramollies au feu et moulées dans des formes d'argile ou de fer recouvertes de sable, de manière à leur donner la forme approximative qu'elles doivent avoir. Il peut se former dans cette dernière opération des fils et des stries dans le verre, aussi beaucoup d'opticiens préfèrent-ils le rodage au moulage. Pour les grandes lentilles employées comme condensateurs d'appareils d'agrandissements, on recourt au moulage, les stries n'ayant pas pour ces lentilles des conséquences bien fâcheuses.

Voici la composition des verres de **Guinand** et de **Bontemps**.

FLINT-GLASS.

	Bontemps.	Guinand.
Sable siliceux blanc	**261**	**225**
Minium	**261**	**225**
Potasse (1re qualité)	**60**	**52**
Borax	**18**	**4**
Nitre		**3**
Manganèse		**1**
Acide arsénieux		**1**
Déchets provenant des fontes précédentes		**89**

CROWN-GLASS.

	Bontemps (1846).	Guinand (1840.)
Sable siliceux blanc	**360**	**400**
Carbonate de potasse		**160**
Carbonate de soude	**150**	
Carbonate de chaux	**84**	
Borax		**20**
Minium		**20**
Peroxide de manganèse		**1**
Arsenic	**6**	

Bontemps a reconnu que le crown est moins sujet à s'effeuiller sous l'influence de l'humidité, en substituant dans sa

composition le borax au carbonate de soude, mais sans excès cependant, sinon le même inconvénient se produit.

Enfin ***Faraday, Dutirou*** et plusieurs autres savants et industriels ont fait beaucoup de recherches sur des flints très-lourds et sur des crowns très-réfringents, de manière à ce que les rapports entre les diverses couleurs de leurs spectres respectifs soient égaux, mais ces recherches, très-intéressantes pour l'optique des lunettes d'astronomie, est peu utile pour les opticiens photographiques, pour lesquels le crown ordinaire uni avec du flint léger produit d'excellents résultats. On n'a que rarement recours aux flints lourds, qui présentent généralement une coloration jaunâtre, qu'il faut proscrire avant tout pour l'usage de la photographie.

Les bassins propres à travailler les surfaces des lentilles. — Les lentilles étant amenées à la forme approximative qu'elles doivent avoir, soit par le moulage, soit par l'usure avec le sable mouillé dans des bassins convexes ou concaves de fer de fonte, doivent maintenant être amenées à la forme prévue par la théorie ou indiquée par la pratique, et pour cela, on les use avec de l'émeri fin dans des bassins sphériques en cuivre ou en laiton, de rayons de courbure déterminés, un peu plus grands que la lentille à user, sinon la surface du bord de la lentille ne serait pas sphérique.

On donne à ces bassins une épaisseur suffisante pour qu'ils résistent à la flexion. Quand ils sont petits, on les coule d'une seule pièce d'une épaisseur suffisante, mais quand ils sont grands, au-delà de 6 à 8 pouces de diamètre par exemple, on les fait de $^1/_2$ pouce d'épaisseur seulement, et on les mastique solidement sur une pierre épaisse ou sur un second bassin de fer de fonte, etc.

Avant de faire le bassin, on fait d'abord le modèle en bois qui sert alors au moulage, puis on achève la pièce coulée au tour.

Il faut nécessairement donner aux bassins les rayons de courbure que les surfaces de la lentille doivent avoir. Pour cela, à

l'aide d'un compas à verge on trace sur une plaque de cuivre bien plane (et pour cela on la dresse au marteau), un arc de cercle du double du diamètre du bassin, et avec une lime on suit bien le trait afin d'avoir un calibre exact; on en fait deux, l'un concave, l'autre convexe, puis, après en avoir fixé un sur une table, on frotte l'autre contre celui-là avec de l'émeri. On use ainsi les deux calibres l'un sur l'autre, ce qui leur donne la vraie courbure qu'ils doivent avoir.

Ces calibres s'appliquent contre les bassins (l'un convexe, l'autre concave) pendant qu'on les travaille au tour, opération qui donne au bassin le rayon de courbure approximatif qu'il doit avoir. Les bassins étant terminés, sont usés l'un dans l'autre avec de l'émeri et jusqu'à ce qu'ils se touchent partout, ce qui les rend sphériques. Il est nécessaire d'avoir deux bassins, l'un convexe, l'autre concave, parce que, pendant l'usure de la lentille à l'aide de l'un des bassins, il se déforme et qu'il faut alors l'user avec l'autre pour lui rendre sa courbure primitive.

La lentille dégrossie est fixée à l'aide de poix molle répandue en gouttes séparées sur l'une de ses surfaces à une plaque de laiton arrondie et travaillée au tour, de manière à ce que le verre s'y adapte aussi bien que possible. Pour cela le verre et la plaque doivent être chauffés préalablement. La plaque tient le verre, et empêche qu'il ne fléchisse sous la pression de la main. Avant de poursuivre les opérations, on use le bord du verre de manière à le rendre bien circulaire, ce qui se fait en le fixant sur le tour et en l'usant avec une pierre.

C'est à partir de ce moment que commencent les opérations les plus délicates de la fabrication de la lentille.

Doucissage et polissage de la surface des lentilles. — Le bassin, soit concave, soit convexe (suivant que la face de la lentille à tailler doit être convexe ou concave), étant fixé dans un billot bien solide, reçoit un peu d'émeri fin mouillé. La lentille fixée sur sa plaque est prise de la main droite (et souvent sur la plaque on fixe un manche pour en rendre le

maniement plus facile) est promenée dans le bassin en appuyant plus ou moins fortement. Le verre est promené dans le bassin cinq à six fois en cercle et deux ou trois fois en différents sens. On a bien soin qu'il ne dépasse jamais le bord du bassin, qui, pour ce motif, doit être un peu plus grand que le verre, et de tenir l'émeri toujours humide. Au bout d'un temps variable avec l'étendue de la surface à tailler, et quand le verre touche bien sur tous les points de la surface du bassin, on change d'émeri pour en employer de plus en plus fin et l'on continue à doucir jusqu'à ce que toutes les raies et marques aient bien disparu de la surface du verre. Il est nécessaire de temps à autre de retoucher le bassin (que nous supposerons concave), avec le bassin convexe, afin de lui conserver sa courbure. C'est surtout lorsque le travail avance qu'il faut faire souvent cette retouche. Enfin, après l'émeri, on se sert de pierre ponce bien fine qui rend le grain encore plus fin et commence le polissage. A ce moment on détache la lentille de sa plaque avec la pointe d'un canif et l'on travaille l'autre surface de la même manière. Avant de commencer, il faut à l'aide du tour examiner si la lentille est bien centrée sur sa plaque ou du moins approximativement, ce qu'on voit aux bords de la lentille, qui ont alors partout la même épaisseur.

La lentille, après le rodage, a des courbures réellement sphériques et maintenant commence la difficile opération du polissage pour laquelle il faut des ouvriers extrêmement habiles, le polissage altérant le plus souvent les surfaces sphériques de la lentille.

Il existe plusieurs procédés de polissage, dont nous donnons ici une idée succincte. Passez à travers un linge très-fin un mélange fondu de parties égales de poix et de colophane. Chauffez légèrement le bassin et répandez-y du mélange précédent (un peu refroidi de manière à ce qu'il ait perdu sa première fluidité), une quantité suffisante pour recouvrir le bassin d'une épaisseur de 3 à 4 millimètres. Vous étendez la poix en couche égale

au moyen de l'autre bassin qui pour cela doit être très-froid et bien propre. Plongez alors le premier bassin dans l'eau froide pour faire durcir la poix, répandez à sa surface un peu de rouge d'Angleterre très-fin et polissez la lentille par le même travail que le doucissage précédemment décrit, avec patience, jusqu'à ce que l'on soit arrivé au bout. Il faut prendre garde que le verre ne s'échauffe et exercer avec la main une pression égale sur toute la surface de la lentille, sinon certaines parties de la surface se poliraient avant d'autres et la surface perdrait sa sphéricité. Pour éviter ce défaut, certains opticiens ajoutent autour de la lentille qu'ils fixent dans la poix sur le billot, des segments de même rayon de courbure, de sorte que la lentille occupe le centre et que les intervalles des segments absorbent l'excès de rouge d'Angleterre. On obtient de cette manière une surface très-approximativement sphérique, mais le travail est plus long(1).

En suivant la méthode précédente (sans segments additionnels) il faut tracer dans la poix quelques sillons à une distance l'un de l'autre d'un demi pouce, larges d'une ligne environ et se croisant perpendiculairement. Toutes les parties superflues de rouge s'y amassent, de même que les fragments de poix qui se détachent accidentellement.

Il faut encore, de même que dans le doucissage, conserver au bassin sa courbure en y appliquant de temps à autre l'autre bassin, et en l'usant avec un peu d'émeri très-fin, que l'on enlève alors par l'eau.

Une autre méthode de polissage consiste à étendre sur le bassin une feuille de papier humide que l'on fait adhérer en y appliquant l'autre bassin et que l'on use légèrement avec du rouge d'Angleterre humide. Alors on polit la lentille dans ce bassin de papier. On prétend que les opticiens allemands se servent, au lieu de papier, de drap fin et qu'ils obtiennent ainsi un poli très-parfait.

(1) L'auteur a vu cette méthode se pratiquer chez M. Ross, à Londres.

Quelle que soit la méthode de polissage employée, la lentille n'a plus une surface absolument sphérique, à moins de prendre une série de précautions qui rendrait la lentille d'un prix fort élevé et que seulement les opticiens de tout premier ordre prennent pour le polissage des objectifs d'astronomie.

Disons cependant que la courbure sphérique de la lentille polie comme il a été dit précédemment, est suffisamment correcte pour les usages de la photographie où les images ne doivent pas être grossies par des oculaires puissants comme celles formées au foyer des lunettes.

Afin d'éviter la flexion du verre pendant le doucissage et le polissage, on laisse toujours aux bords de la lentille une certaine épaisseur.

Les lentilles à surfaces convexes sont les plus faciles à travailler, les ménisques convergents et divergents sont encore beaucoup plus difficiles à obtenir. Telles lentilles sont même extrêmement difficiles à obtenir correctes de surface, par exemple les trois lentilles constituant l'*objectif simple* de ***Dallmeyer***, celles constituant l'*objectif-globe* de ***Harrisson***, objectifs dont nous parlerons plus tard.

Centrage et monture des lentilles. — Quand les centres des deux surfaces de la lentille se trouvent sur une même droite perpendiculaire au contour de la lentille, celle-ci est centrée et son épaisseur sur les bords est la même dans toutes les parties de ce bord.

Pour les lentilles au-dessous de deux pouces de diamètre, on met la lentille sur le tour et on l'y fixe aussi solidement et aussi centralement que possible avec du mastic. La faisant tourner, on observe par réflexion sur les deux faces, l'image d'une bougie éloignée, les deux images produites par les deux surfaces ne peuvent pas se déplacer. Si le centrage est imparfait, l'une des images, ou toutes deux, décrivent un cercle. Il faut alors déplacer la lentille, jusqu'à centrage parfait, c'est à dire jusqu'à ce que les images restent immobiles, puis roder avec du cuivre et de l'émeri les bords de la lentille.

Si la lentille a plus de deux pouces de diamètre, on la place encore sur le tour, sur un support muni de deux vis de rappels perpendiculaires entr'elles, et de plus, perpendiculaires à l'axe du tour. On fixe sur le banc du tour un compas d'épaisseur dont les branches sont inégales de longueur, de manière que le bord de la lentille courre entre les deux branches les plus courtes, les deux autres étant munies d'un ressort qui tend à les éloigner l'une de l'autre. Si maintenant la lentille tourne, les extrêmités du compas s'éloigneront ou se rapprocheront si la lentille n'est pas centrée. On touche alors aux vis de rappel jusqu'à ce que le compas accuse l'égalité de l'épaisseur du bord. Dans cette position on rend la lentille circulaire en lui imprimant un mouvement de rotation rapide et en l'usant lentement sur les bords (sans chocs ni secousses qui la déplaceraient). Dans ce cas la lentille est centrée.

On opère de la même manière pour les lentilles convergentes et les lentilles divergentes, et comme le plus souvent, on réunit une lentille convergente à une lentille divergente dans le même anneau (appelé ***barillet***), on leur donne le même diamètre, en ayant soin que les bords soient à angle droit avec le contour, c'est-à-dire parallèle à l'axe des lentilles.

Souvent les deux lentilles sont collées, elles doivent alors offrir une surface commune. Pour cela on les chauffe, on verse un peu de ***baume de Canada*** dans la surface concave, puis y appliquant la surface convexe, on serre les deux lentilles l'une contre l'autre, de façon que l'excès de liquide s'écoule. Après le refroidissement les deux lentilles tiennent fortement l'une à l'autre (car pour les désunir il faut les chauffer), et n'en forment plus qu'une seule.

Souvent encore les deux lentilles n'ayant pas de surface commune, on introduit entre les deux, sur les bords, et à égale distance l'une de l'autre, trois petites feuilles d'étain qui les séparent, ou même un anneau de cuivre. L'objectif que les photographes appellent « *objectif à verres combinés* » offre un exemple de ces deux manières de monter les lentilles; celles de devant,

qui regardent l'objet à reproduire, sont collées ensemble, tandis que les deux dernières sont séparées dans leur monture commune par un anneau.

Quand la lentille est fixée dans son anneau de cuivre de manière qu'elle n'en puisse sortir sans qu'on enlève avec un couteau le bord recourbé du cuivre, on dit qu'elle y est **sertie**. Le plus souvent, elle est maintenue par un second anneau qu'on peut facilement dévisser.

Section III. — *Loi des foyers conjugués et grandeur des images au foyer des lentilles.*

Dans ce chapitre, nous examinons la marche des rayons lumineux à travers les lentilles, mais, afin de ne pas compliquer inutilement cette étude, nous faisons deux abstractions dont nous nous débarasserons plus tard, mais que le lecteur ne doit pas perdre de vue. La première, que les rayons incidents sont composés de lumière simple, (car ainsi que nous l'avons vu précédemment la réfraction d'un rayon de lumière blanche est toujours accompagnée de décomposition). La seconde, que les lentilles ont, à leur partie centrale, une épaisseur extrêmement faible ou même nulle (1), ou, en d'autres termes que les rayons

(1) C'est là au moins l'abstraction qu'on présente communément dans tous les traités de physique, mais elle est fortement erronée si l'on considère les ménisques dont les rayons de courbure sont très-courts et dont le diamètre est considérable, quoique l'épaisseur faible. En effet, la fig. 19 nous représente un ménisque convergent dont CR et C'R' sont les rayons de courbure. Or, si CC' est petit, l'épaisseur de la lentille sera petite et pourrait être regardée comme nulle si la lentille était bi-convexe. Cependant en appliquant à cette lentille les formules ordinaires qui déterminent la distance focale, l'expression de son aberration, etc. on trouve une erreur relativement considérable. C'est que la définition « *d'épaisseur nulle* » est erronée. Il faut que le sinus-verse *ab* du rayon de courbure puisse être regardé comme nul par rapport à ce rayon, surtout dans les calculs relatifs aux aberrations.

fig. 19.

de courbure des faces sont très-grands relativement à leur diamètre.

Assimilation des lentilles aux prismes. — Pour étudier la marche des rayons lumineux dans les lentilles, on suppose toujours, ce qui est d'ailleurs exact, que la portion infiniment petite de la lentille frappée par le rayon incident, peut être remplacée par un plan tangent.

Une lentille convergente peut ainsi être considérée comme formée de prismes réunis par la base et une lentille divergente comme réunis par le sommet. C'est ainsi qu'une lentille bi-convexe A (fig. 20) peut être assimilée à deux prismes accolés par la base (B), une lentille divergente C à deux prismes réunis par le sommet (D), ce qui fait comprendre de suite comme quoi la première (et en général toutes les lentilles convergentes) rapprochent en f les rayons incidents rr qui les frappent, et la seconde les éloigne suivant r', puisque nous savons que les prismes dévient vers la base les rayons incidents qui les traversent.

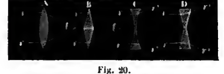


Fig. 20.

Pour trouver géométriquement la marche d'un rayon lumineux RD (fig. 21), tombant parallèlement à l'axe CC′ sur une

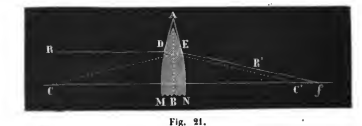


Fig. 21.

lentille MN (bi-convexe par exemple, mais dont nous négligeons l'épaisseur), menons le rayon de courbure DC′ de la face M, et le rayon de courbure CE de la face N, les deux rayons de courbure faisant avec l'axe CC′ des angles égaux. A ces rayons de courbure

menons les tangentes DA et EA. Nous n'avons donc plus à considérer la lentille, mais le prisme A. Or, cet angle A étant infiniment petit (puisque nous regardons la lentille comme très-mince) la déviation qu'il produit sur le rayon incident qui tombe normalement à sa bissectrice AB, est égale à $(n-1)$ A. Le rayon émergent ER′ ira donc couper l'axe en un point f.

Si au lieu d'un rayon incident RD on en choisit tout autre (mais toujours parallèle à l'axe) plus ou moins éloigné du centre de la lentille, on voit en traduisant l'angle A en chiffres que tous les rayons émergents vont couper l'axe de la lentille au même point f, qui constitue son *foyer principal.*

Calcul de la distance focale des lentilles. Foyer principal et foyer conjugué. — Soit AB la surface sphérique infiniment petite d'un milieu plus réfringent à droite de AB qu'à gauche, soit D un point rayonnant, émettant un rayon incident DA. Joignons le centre de courbure C de la surface AB aux points A et D, *l'axe* sera DC et AC la normale, dont le rayon réfracté se rapprochera et ira couper l'axe en f'. Recherchons le rapport de DB à Bf'.

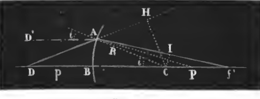


Fig. 22.

Du point C abaissons sur le rayon incident et sur le rayon réfracté les perpendiculaires CH, CI, et considérons AB comme une droite, ce que nous pouvons faire, l'ayant considéré comme un arc infiniment petit. Les triangles rectangles DAB, DHC sont semblables, l'angle D étant commun, donnent DC : DA :: CH : AB et en supposant (l'angle f' étant fort petit) DA = DB = p (*distance du point rayonnant à la surface sphérique*) de plus AC = R, (*rayon de courbure de la surface sphérique*) : $p + R : p =$ CH : AB.

Les triangles semblables f'IC, f'AB (étant rectangles et f' commun) donnent : f'C : f'B :: IC : AB. Or, f'A = f'B (f' étant

comme D très-petit), $f'B = p'$ (*distance focale de* AB) donc $p' - R : p' :: IC : AB$.

Divisant les deux proportions terme à terme, il vient : $\frac{p + R}{p' - R} : \frac{p}{p'} :: \frac{CH}{CI} : 1$. CH et CI sont les sinus de l'angle d'incidence et de réfraction, leur rapport est donc l'indice de réfraction n, donc $\frac{p + R}{p' - R} = \frac{p \cdot n}{p'}$ d'où l'on tire :

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{p'} = \frac{n - 1}{R} \quad ....[1].$$

On voit donc que quelle que soit l'incidence du rayon DA, puisque nous l'avons choisi arbitrairement, $f'B$ ou p' reste toujours égal, puisque l'équation précédente ne mentionne pas cette incidence; *donc tous les rayons émis par un point rayonnant sur la surface sphérique infiniment petite d'un milieu, sont réfractés en un point commun, appelé foyer.*

Nous avons supposé le rayon incident DA oblique à l'axe DC, mais si nous l'avions supposé parallèle à cet axe, soit D'A, nous trouverions comme rayon réfracté AP au lieu de AF, et le point P détermine le ***foyer principal*** du milieu.

Dans ce cas p' (BP) $= \frac{nR}{n - 1}$ ....[2].

Voyons à présent le cas d'une lentille que nous supposerons bi-convexe à courbures égales et suffisamment mince pour pouvoir négliger son épaisseur, et à très-petite ouverture, précisément comme nous l'avons fait pour le cas précédent. Les mêmes lettres de la fig. 22 désignent les mêmes objets.

Soient AB, A'B' les deux surfaces de la lentille, C, C' les centres de courbure, CA, CA' les rayons de courbure R, Df l'axe, DA un rayon incident partant d'un point D situé sur l'axe, le rayon réfracté sera comme dans le cas précédent Af et nous aurons en supposant le milieu à droite de AB comme indéfini :

$$[1].... \quad \frac{1}{p} + \frac{n}{p'} = \frac{n - 1}{R}.$$

Mais le rayon réfracté rencontre la face A'B' en A' et va couper l'axe en f'. Supposons maintenant le milieu comme indéfini à la gauche de A'B', f' comme point rayonnant f'A' un rayon incident, A'A le rayon réfracté, son prolongement ira couper l'axe en f. On aurait ainsi $\frac{1}{f'B'} - \frac{n}{B'f} = \frac{n-1}{R}$. Soit $f'B' = p'$, négli-

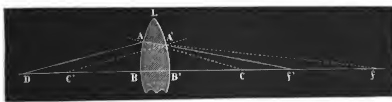


Fig. 23.

geons BB' que nous regardons, par hypothèse, comme infiniment petit, et ajoutons les deux égalités membre à membre, nous aurons

$$[3]\ldots \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{n-1}{R} + \frac{n-1}{R'} = \frac{(n-1)(R+R')}{RR'}.$$

Il est visible que p et p', c'est-à-dire *la distance du point rayonnant en avant de la lentille* et *la distance focale* de celle-ci, ne dépendent aucunément de l'incidence du rayon DA, mais uniquement des rayons de courbure R et R' de cette dernière et de l'indice de réfraction de la matière dont elle est formée. Ce qu'il fallait démontrer.

Si le rayon incident DA est parallèle à l'axe, p est infini et p' représente *la distance focale principale* de la lentille, dans ce cas p' ou f devient

$$f = \frac{RR'}{(n-1)(R+R')}.$$

Formules déterminant la distance focale principale des lentilles pour les rayons parallèles à l'axe. — Connaissant l'indice de réfraction n de la matière dont la

lentille est formée, ses rayons de courbure R et R', sa distance focale principale f est donnée, pour les différentes formes de lentilles par les formules suivantes. Disons cependant que la valeur de f n'est qu'approximative, que nous ne tenons pas compte ici de l'épaisseur de la lentille. Pour une approximation plus grande, voyez le *Treatise of the reflexion and refraction of Light*, by Henry Coddington, Cambridge, 1829, pages 91 et suivantes.

N. B. La distance focale f est comptée à partir du centre optique de la lentille (voyez p. 53).

[1] ***Lentille bi-convexe*** (R > R' ou R' > R).

$$f = \frac{RR'}{(n-1)(R+R')}.$$

[2] ***Lentille équi-convexe*** (R = R').

$$f = \frac{R}{2(n-1)}.$$

[3] ***Lentille plan-convexe.***

$$f = \frac{R}{(n-1)}.$$

[4] ***Ménisque convergent*** (R' > R).

$$f = \frac{-RR'}{(n-1)(R-R')}.$$

[5] ***Lentille bi-concave*** (R > R' ou R' > R).

$$f = \frac{-RR'}{(n-1)(R+R')}.$$

[6] ***Lentille équi-concave*** (R = R').

$$f = \frac{-R}{2(n-1)}.$$

[7] ***Lentille plano-concave.***

$$f = \frac{-R}{(n-1)}.$$

[8] ***Ménisque divergent*** (R > R').

$$f = \frac{-RR'}{(n-1)(R-R')}.$$

Exemples de ces calculs : 1° Quelle est la distance focale d'une lentille bi-convexe, dont les rayons de courbure sont respectivement de 6 mètres et de 1 mètre, et l'indice de réfraction 1,5?

La formule 1 nous donne $f = \frac{6 \times 1}{(1,5-1)(6+1)} = \frac{6}{3,5} = 1^{m}714.$

2° Quelle serait la distance focale d'un ménisque convergent, de mêmes rayons de courbure et indice de réfraction que dans l'exemple précédent?

Il faut prendre (formule 4) $R' > R$, donc $R' = 6$ et $R = 1$. Sinon au lieu d'un ménisque convergent nous aurions un ménisque divergent (voyez l'exemple suivant)

$$f = \frac{-1 \times 6}{(1,5-1)(1-6)} = \frac{-6}{-2,5} = 2^{m}4.$$

3° Quelle serait la distance focale d'un ménisque *divergent* de mêmes rayons de courbure et de même indice que précédemment.

Il faut prendre (formule 8) $R < R'$, donc $R = 6$ et $R' = 1$, et nous avons :

$$f = \frac{-6 \times 1}{(1,5-1)(6-1)} = \frac{-6}{2.5} = -2^{m}4.$$

4° Je désire faire exécuter par un opticien une lentille bi-convexe de $1^{m}714$ de distance focale, les deux rayons de courbure devant être *entr'eux* de 1 à 6. Quels seront ces rayons de courbure? L'indice est de 1,5.

Puisque l'un des rayons de courbure est 6 fois aussi long que l'autre, $R' = 6R$.

Dans la formule 1, remplaçons donc f par sa valeur donnée ($1^{m}714$) et R' par sa valeur 6R et nous aurons

$$1^{m}714 = \frac{R \times 6R}{0,5 \times 7R} = \frac{6R}{3,5} \quad \text{d'où} \quad 6R \text{ ou } R' = 1^{m}714 \times 3.5 = 6^{m},$$
$$\text{et} \qquad R \qquad = 1^{m}.$$

5° Je possède une lentille bi-convexe et je voudrais connaître l'indice de réfraction de la matière dont elle est formée. J'ai

mesuré sa distance focale qui est de $1^{m}714$, et ses deux rayons de courbure qui sont respectivement de 1 mètre et de 6 mètres. Quel est cet indice? (formule 1),

$$1.714 = \frac{6 \times 1}{(n-1)(1+6)} = \frac{6}{7n-7},$$

d'où

$$(7n-7)\,1.714 = 6 \quad \text{d'où} \quad n = \frac{3}{2} \quad \text{ou} \quad 1{,}5.$$

On le voit donc, ces formules permettent de trouver toujours n, R et R' ou f, deux des trois éléments étant connus. Ces formules sont donc d'un fréquent usage.

Distance focale des lentilles (1). — Supposons d'abord le cas le plus simple, à savoir : celui de rayons lumineux r (fig. 24) émanant d'un point situé à l'infini, d'une étoile par exemple, et tombant parallèlement à l'axe d'une lentille convergente A. Dans ce cas les rayons émergents convergent tous vers un seul point f de l'axe qui a été nommé le ***foyer principal*** de la lentille et où se forme l'image du point.

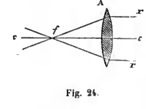


Fig. 24.

Inversément un point lumineux f (fig. 25) une bougie par exemple, placée au foyer principal d'une lentille convergente A, émet des rayons divergents qui, après avoir traversé la lentille, en émergent tous suivant r parallèles entr'eux et à l'axe.

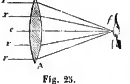


Fig. 25.

Le foyer principal d'une lentille convergente est donc toujours très-facile à déterminer approximativement par l'expérience, il suffit pour cela de la présenter aux rayons solaires de manière que ceux-ci tombent

(1) Cet alinéa n'est que l'énoncé élémentaire de ce qui a été démontré géométriquement dans les alinéas précédents.

perpendiculairement à son contour, et de mesurer la distance qui sépare le centre de la lentille de l'image solaire la plus nette possible qu'elle forme à son foyer (voyez page 80). Il y a cependant une légère erreur qui provient de l'épaisseur de la lentille surtout si c'est un ménisque convergent.

Au lieu d'un point rayonnant situé à l'infini, choisissons un point plus rapproché de la lentille, mais toujours situé sur son axe. Dans ce cas, les rayons émis par le point lumineux ne sont plus parallèles, ils divergent et tombent divergents sur la lentille, dont le foyer se forme dès lors d'autant plus loin en arrière de la lentille que le point se rapproche davantage. Le point rayonnant se trouve-t-il à une distance de la lentille égale au double de sa distance focale principale, alors son image se forme à une distance précisément égale en arrière de la lentille. Se rapproche-t-il davantage, son image se forme plus loin encore, et il arrive enfin un moment, celui où le point rayonnant se trouve à une distance de la lentille égale à sa distance focale principale, où les rayons émergent parallèlement entr'eux et qu'il ne se forme plus d'image du tout.

Les lentilles divergentes ne forment point d'images du tout, quelle que soit la distance du point rayonnant. C'est ainsi (fig. 26) que des rayons rr parallèles à l'axe Af d'une lentille A émergent suivant r' en divergeant. Il ne se forme donc point d'image réelle en arrière de la lentille. Prolongeons les rayons r' jusqu'à ce qu'ils rencontrent l'axe, comme le montre la figure, et Af sera la distance focale principale de la lentille A.

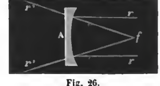


Fig. 26.

La même relation qui existe entre la distance focale variable des lentilles convergentes et la distance du point rayonnant existe pour les lentilles divergentes, seulement au lieu de se former en arrière de la lentille, le foyer ne se forme pas réellement (on dit qu'il se forme ***virtuellement***).

De même que la déviation d'un rayon lumineux produite par un prisme dépend de l'angle de ce prisme et de l'indice de la matière dont il est formé, de même la distance focale principale d'une lentille dépend des rayons de courbure des surfaces sphériques qui la constituent et de son indice de réfraction. Il est clair, en effet, que plus ces rayons de courbure sont courts, plus la distance focale le sera. De même de deux lentilles à courbures égales, celle-là qui sera formée de la matière la plus réfringente, aura la distance focale la plus courte (voyez page 82).

Du plan focal. — Si au lieu d'un point lumineux unique situé sur l'axe de la lentille nous considérons un objet CD (fig. 27) d'une certaine dimension, nous trouvons sensiblement les mêmes résultats si l'objet n'a pas une étendue très-grande. Car considérons un point D de cet objet (que nous supposerons situé à l'infini) envoyant à la lentille convergente AB un pinceau de rayons obliques à l'axe *a*C, et son image se formera en *p'* qui sera sensiblement sur le même plan (perpendiculaire à l'axe *a*C) que le foyer *p* des rayons parallèles à l'axe de la lentille et émanant du point C. Le plan *pp'* est dit le *plan focal*.

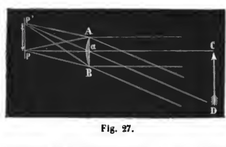


Fig. 27.

On voit donc que l'image *pp'* se forme renversée en arrière de la lentille et sa grandeur dépend évidemment de la grandeur CD, ou de la distance *a*C de l'objet à la lentille et de la distance focale *pa* de celle-ci : puisque dans les deux triangles semblables *pp'a* et CD*a* on a la proportion :

$$CD : pp' :: Ca : ap.$$

Plus donc la lentille convergente a une courte distance focale (l'objet CD restant à une distance constante), plus l'image de cet objet sera petite. Plus l'objet s'éloigne de la lentille AB

(sa distance focale étant donnée) plus l'image de cet objet sera encore petite.

Entre la distance focale d'une lentille, la distance de l'objet à la lentille, et la grandeur de l'image, il existe donc des rapports géométriques que nous étudions plus loin. La loi qui lie ces distances s'appelle la ***loi des foyers conjugués.***

Détermination expérimentale de la distance focale absolue des lentilles. — Nous avons donné page 68 les formules à l'aide desquelles on déterminait aisément la distance focale principale d'une lentille et page 71 un procédé expérimental pour le même objet, mais ni l'une ni l'autre de ces méthodes n'est suffisamment exacte, s'il s'agit d'un système de lentilles dont l'axe est commun, par exemple, des objectifs photographiques. Alors on applique la méthode suivante :

Soient AB (fig. 28) des objets très-éloignés situés à l'horizon, C l'objectif vissé sur une chambre noire placée sur une table bien de niveau. En les mettant au point sur le verre dépoli, nous trouvons que les objets D et E forment la limite de l'image sur le verre dépoli. DCE est l'angle qu'embrasse l'objectif. Tracez au milieu du verre dépoli une droite verticale et tournez la chambre noire jusqu'à ce que le point E tombe sur cette droite. Avec un crayon appuyé sur le côté de la chambre noire tracez la droite *ce*. Tournez la chambre vers le point D jusqu'à ce que ce point tombe sur la droite tracée sur le verre dépoli. Tracez la droite *cd* comme vous l'avez fait pour *ce*. Si cette droite ne vient pas couper *ce* prolongez-la suffisamment. Il est clair que l'angle *ecd* est égal à DCE. Donc, en plaçant le centre d'un rapporteur en *c*, on lit le nombre de degrés *ed*, c'est l'angle embrassé par votre objectif. Sa distance focale *absolue* s'obtient ainsi : mesurez avec un compas sur le verre dépoli la distance des

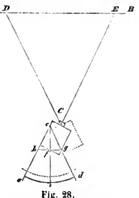


Fig. 28.

points D et E, prenez-en la moitié. Bissectez l'angle *ecd* par une droite *cf* sur laquelle vous placerez un équerre. Portez votre demi-distance DE (mesurée sur le verre dépoli) sur l'équerre et faites *fg* égal à cette demi-distance et perpendiculaire à *cf*. Alors *fc* sera la vraie distance focale de l'objectif, qui une fois connue, permet de calculer la grandeur des images. (GRUBB. *British journal of Photography*.)

Détermination du foyer conjugué et de la grandeur de l'image. Rappelons-nous d'abord ce fait : que si, dans une chambre bien obscurcie (fig. 2, p. 22) nous perçons une petite ouverture, les objets extérieurs viendront se peindre sur un écran blanc placé en arrière de cette ouverture. *Plus la distance de ces objets est grande, plus leur image est petite, mais on peut agrandir ou diminuer cette image, en reculant ou en avançant l'écran qui reçoit l'image.* Si, sur l'ouverture, nous plaçons une lentille convergente, nous remarquerons qu'il y a une place en arrière de cette lentille où l'image est la plus nette; en avançant ou en reculant l'écran, cette image perdra de sa netteté primitive.

Si l'objet fixe, qui, dans notre figure (2, page 22), est représenté par une église, est remplacé par une figure mobile, par un homme qui marche, par exemple, on pourra vérifier que, si cet homme s'éloigne, l'image pour être la plus nette possible se rapproche de la lentille et diminue de grandeur; et que, inversément, si l'homme se rapproche, le foyer s'allonge, et l'image augmente de grandeur.

Or, il y a entre la distance focale de la lentille, la grandeur de l'image et la distance de l'objet à la lentille des rapports très-simples, à l'aide desquels connaissant deux de ces rapports on peut toujours trouver le troisième. Soit f la distance focale principale de la lentille (ou du système de lentilles combinées), p la distance de l'objet à la lentille, p' la distance focale de la lentille où l'image se forme nette, on a le rapport :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}.$$

L'objectif a-t-il 24 cent. de foyer, la distance de l'objet à la lentille étant de 400 centimètres, nous aurons pour la distance p' où l'image se peint avec netteté sur le verre dépoli :

$$\frac{1}{24} = \frac{1}{400} + \frac{1}{p'} \text{ ou bien } 400 = \frac{24 \times 400}{p'}$$

d'où $p' = 25,5$ centimètres. La distance focale principale se sera donc allongée de 1,5 centimètres.

Le rapport de grandeur entre l'image et l'objet sera comme $p' : p$ soit de 25,5 à 400, c'est-à-dire de approximativement 1/16e de sa grandeur.

Il est donc toujours aisé, connaissant la distance focale de la lentille dont on se sert, la dimension de l'objet et sa distance à la lentille, de calculer exactement la dimension de l'image, ou, changeant le problème et voulant avec un objectif donné, obtenir une image de telle grandeur déterminée, chercher à quelle distance il faudra se placer de l'objet. Cependant pour éviter à nos lecteurs ce travail, nous extrayons de l'excellente brochure de M. Secretan, intitulée « *De la distance focale des systèmes optiques convergents* » les tableaux suivants, avec l'explication de leur usage (1).

---

(1) Les opticiens, dans leurs catalogues, donnent généralement, au lieu de la véritable distance focale de leurs objectifs, celle mesurée à partir du verre qui regarde le verre dépoli. Il n'y a pas là d'erreur bien sensible pour l'objectif simple à paysages, mais pour tous les autres, il faut, ou les mesurer comme nous l'indiquons plus haut, ou bien ajouter au chiffre que donnent les opticiens la moitié de la longueur du tube dans lequel les objectifs sont montés.

	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/15	1/20	1/25	1/30
0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,60	2,10	2,60	3,10
	0,20	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	2,40	3,15	3,90	4,65
	0,30	0,25	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16
0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20
	0,40	0,30	0,27	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21
0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	4,00	5,25	6,50	7,75
	0,50	0,38	0,33	0.31	0,30	0,29	2,29	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26
0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30	4,80	6,30	7,80	9,30
	0,60	0,45	0,40	0,38	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31
0,35	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15	3,50	3,85	5,60	7,35	9,10	10,85
	0,70	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,36	0,36
0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	6,40	8,40	10,40	12,40
	0,80	0,60	0,53	0,50	0,48	0,47	6,40	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,42	0,41
0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,60	4,05	4,50	4,95	7,20	9,45	11,70	13,95
	0,90	0,68	0,60	0,56	0,54	0,53	0,51	0,51	0,50	0,50	0,48	0,47	0,47	0,47
0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3.00	3,50	4.00	4,50	5,00	5,50	8,00	10,50	13,00	15,50
	1,00	0,75	0,67	0,63	0,60	0,58	0,57	0,56	0,55	0,55	0,53	0,53	0,52	0,52
0,55	1,10	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85	4,40	4,95	5,50	6,05	8,80	11,55	14,30	17,05
	1,10	0,83	0,73	0,69	0,66	0,44	0,63	0,62	0,61	0,61	0,59	0,58	0,57	0,57
0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	6,60	9,60	12,60	15,60	18,60
	1,20	0,90	0,80	0,75	0,72	0,70	0,69	0,68	0,66	0,66	0,64	0,63	0,62	0,62
0,65	1,30	1,95	2,60	3,25	3,90	4,55	5,20	5,85	6,50	7,15	10,40	13,65	16,90	20,15
	1,30	0,98	0,87	0,81	0.78	0,76	0,74	0,73	0,72	0,72	0,69	0,68	0,68	0,67
0,70	1,40	2,10	2,80	3,50	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	7,70	11,20	14,70	18,20	21,70
	1,40	1,05	0,93	0,87	0,84	0,82	0,80	0,79	0,77	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72
0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00	6,75	7,50	8,25	12,00	15,75	19,50	23,25
	1,50	1,13	1,00	0,94	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83	0,83	0,80	0,79	0,78	0,77
0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,00	8,80	12,80	16,80	20,80	24,80
	1,60	1,20	1,07	1,00	0,96	0,93	0,91	0,90	0,88	0,88	0,85	0,84	0,83	0,83
0,85	1,70	2,55	3,40	4,25	5,10	5,95	6,80	7,65	8,50	9,35	13,60	17,85	22,10	26,35
	1,70	1,28	1,13	1,06	1,02	0,99	0,97	0,96	0,94	0,94	0,91	0,89	0,88	0,88
0,90	1,80	2,70	3,60	4,50	5,40	6,30	7,20	8,10	9,00	9,90	14,40	18,90	23,40	27,90
	1,80	1,35	1,20	1,12	1,08	1,05	1,03	1,01	0,99	0,99	0,96	0,95	0,94	0,93
0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,70	6,65	7,60	8,55	9,50	10,45	15,20	19,95	24,70	29,45
	1,90	1,43	1,27	1,19	1,14	1,11	1,09	1,07	1,05	1,05	1,01	1,00	0,99	0,98
1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	16,00	21,00	26,00	31,00
	2,00	1,50	1,33	1,25	1,20	1,17	1,14	1,13	1,10	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03

	1/40	1/50	1/60	1/70	1/80	1/90	1/100	1/120	1/140	1/160	1/180	1/200
0,10	4,10 0,10	5,10 0,10	6,10 0,10	7,10 0,10	8,10 0,10	9,10 0,10	10,10 0,10	12,10 0,10	14,10 0,10	16,10 0,10	18,10 0,10	20,10 0,10
0,15	6,15 0,15	7,65 0,15	9,15 0,15	10,65 0,15	12,15 0.15	13,65 0,15	15,15 0,15	18,15 0,15	21.15 0,15	24,15 0,15	27,15 0,15	30,15 0,15
0,20	8,20 0,21	10,20 0,20	12,20 0,20	14,20 0,20	16,20 0.20	18,20 0,20	20,20 0,20	24,20 0,20	28,20 0,20	32,20 0,20	36.20 0,20	40,20 0,20
0,25	10,25 0,26	12,75 0,26	15,25 0,25	17,75 0,25	20,25 0,25	22,75 0,25	25,25 0,25	30,25 0,25	35,25 0,25	40,25 0,25	45,25 0,25	50,25 0,25
0,30	12,30 0,31	15,30 0,31	18,30 0,31	21,30 0,30	24,30 0,30	27,30 0,30	30,30 0,30	36.30 0,30	42,30 0,30	48,30 0,30	54,30 0,30	60,30 0,30
0,35	14,35 0.36	17,85 0,36	21,35 0,36	24,85 0,36	28,35 0,35	31,85 0,35	35,35 0,35	42,35 0,35	49.35 0,35	56,35 0,35	63,35 0,35	70,35 0,35
0,40	16,40 0,41	20.40 0,41	24,40 0,41	28,40 0,41	32,40 0,41	36,40 0,40	40,40 0,40	48,40 0,40	56,40 0,40	64,40 0,40	72,40 0,40	80,40 0,40
0,45	18,45 0,46	22,95 0,46	27,45 0,46	31,95 0,46	36,45 0,46	40,95 0,46	45,45 0,45	54,45 0,45	63,45 0,45	72,45 0,45	81,45 0,45	90,45 0,45
0,50	20,50 0,51	25,50 0,51	30,50 0,51	35,50 0,51	40,50 0,51	45,50 0,51	50,50 0,51	60,50 0,50	70,50 0,50	80,50 0,50	90,50 0,50	100,50 0,50
0,55	22,55 0,56	28,05 0,56	33,55 0,56	39,05 0,56	44,55 0,56	50,05 0,56	55,55 0,56	66,55 0,55	77,55 0,55	88,55 0,55	99,55 0,55	110,55 0,55
0,60	24,60 0,62	30,60 0,61	36,60 0,61	42,60 0,61	48,60 0,61	54,60 0,61	60,60 0,61	72,60 0,61	84,60 0,60	96,60 0,60	108,60 0,60	120,60 0,60
0,65	26.65 0,67	33,15 0,66	39,65 0,66	46,15 0,66	52,65 0,66	59.15 0,66	65,65 0,66	78,65 0,66	91.65 0,65	104,65 0,65	117,65 0,65	130,65 0,65
0,70	28,70 0,72	35,70 0,71	42,70 0,71	49,70 0,71	56,70 0,71	63.70 0,71	70.70 0,71	84,70 0,71	98,70 0,71	112,70 0,70	126,70 0,70	140.70 0,70
0,75	30,75 0,77	38,25 0,77	45,75 0,76	53,25 0,76	60,75 0,76	68,25 0,76	75.75 0,76	90,75 0,76	105,75 0,76	120,75 0,75	135,75 0,75	150,75 0,75
0,80	32,80 0,82	40,80 0,82	48,80 0,81	56,80 0,81	64,80 0,81	72,80 0.81	80,80 0,81	96 80 0,81	112,80 0,81	128,80 0,81	144,80 0,80	160,80 0,80
0,85	34,85 0,87	43,35 0,87	51,85 0,86	60,35 0,86	68,85 0,86	77,35 0.86	85.85 0.86	102,85 0,86	119,85 0.86	136,85 0,86	153,85 0,85	170,85 0,85
0,90	36,90 0,92	45,90 0,92	54,90 0,92	63,90 0,91	72 90 0,91	81,90 0,91	90.90 0,91	108,90 0,91	126,90 0,91	144,90 0.91	162.90 0,91	180,90 0,90
0,95	38,95 0,97	48.45 0,97	57,95 0,97	67,45 0,97	76,95 0.97	86.45 0,96	95.95 0,96	114.95 0,96	133,95 0,96	152,95 0,96	171.95 0,95	190,95 [illegible]
1,00	41,00 1.03	51,00 1,02	61,00 1,02	71,00 1,01	81,00 1,01	91,00 1,01	101.00 1,01	121,00 1,01	141.00 1,01	161,00 1,01	181,00 1,01	201,00 1,01

« La première colonne verticale contient les distances focales de 5 en 5 centimètres, depuis 10 jusqu'à 50 centimètres; pour des distances focales intermédiaires, on pourra interpoler ou plutôt calculer les résultats par les règles ci-dessus (voir page 74). La seconde colonne verticale, qui porte en tête le nombre fractionnaire $\frac{1}{1}$, donne, pour ce rapport de grandeur de l'image et vis-à-vis de chaque distance focale de la première colonne, deux nombres : le premier est la distance de l'objet à la lentille; le second, celle de la glace dépolie à cette même lentille. La troisième colonne verticale donne les mêmes choses, mais pour le rapport d'image $\frac{1}{2}$; la quatrième colonne les donne pour le rapport $\frac{1}{3}$, et ainsi des suivantes.

« Supposons qu'avec un objectif de 30 centimètres de foyer on veuille faire un portrait au $\frac{1}{6}$ de grandeur.

« Partant du nombre 30 de la première colonne verticale, on suivra la ligne horizontale jusqu'à ce qu'on soit arrivé dans la verticale en tête de laquelle se trouve $\frac{1}{6}$; on tombera ainsi sur la case où se trouvent les deux nombres 2,10 et 0,35; le premier indique que la personne devra être à 2 mètres 10 centimètres de l'objectif, et le second nous apprend que la glace dépolie mise au foyer sera à environ 35 centimètres du même objectif.

« Les résultats du tableau sont exacts à moins d'un centimètre près; plus d'exactitude eût été inutile, surtout pour le nombre qui détermine la distance de la glace dépolie, attendu que c'est toujours par la mise effective au point, qu'on règle celle-ci. Cette dernière quantité est toujours bonne à connaître d'avance, quand ce ne serait que pour savoir si le local où l'on opère est assez grand pour opérer telle réduction d'image avec tel foyer d'objectif.

« Ainsi, veut-on savoir quelle est la plus petite réduction qu'on peut faire avec un foyer de 40 centimètres, dans une chambre dont la plus grande dimension est de 4 mètres, ôtons d'abord 1 mètre pour la place de celui qui posera et pour celle de l'opérateur mettant au point sur la glace dépolie, nos 4 mètres se réduiront à 3 mètres.

« Dans la ligne horizontale qui correspond au foyer 40, faisons à vue la somme des deux nombres de chaque case jusqu'à ce que nous trouvions le résultat qui approche le plus de 3 mètres, mais en moins, et nous arriverons ainsi au nombre 2,88, fourni par la colonne verticale en tête de laquelle se trouve $\frac{1}{5}$.

« Telle sera la plus petite grandeur d'image que nous pourrons obtenir dans ce local avec cet objectif.

CHAPITRE V.

DES ABERRATIONS.

Définition des aberrations. — Nous avons jusqu'ici supposé l'ouverture des lentilles fort petite relativement à leur distance focale et par suite le concours au même point de tous les rayons réfractés par cette lentille. Mais dans la pratique, on se sert le plus souvent de lentilles ayant une ouverture considérable, et dès-lors, ce résultat ne s'obtient plus, les rayons réfractés par les bords de la lentille concourant à un point différent de l'axe de ceux du centre. C'est ce qui constitue une ***aberration*** qu'on a nommée ***sphérique*** parce qu'elle provient de la sphéricité des surfaces de la lentille.

Nous avons encore supposé que la réfraction dans les lentilles n'était pas accompagnée de dispersion ; or cela n'est pas, aussi pour un rayon incident blanc y a-t-il différents rayons réfractés qui coupent dès-lors l'axe en des points différents, c'est ce que l'on appelle l'***aberration chromatique***.

Nous avons encore admis que l'image des objets extérieurs se formait au foyer des lentilles sur un plan perpendiculaire à son axe, tandis qu'en réalité elle se forme sur une surface courbe, cette aberration c'est la ***courbure du champ***.

Nous avons supposé les lentilles infiniment minces et donnant dès lors des images conformes comme lignes à l'objet. Mais les

lentilles ont une épaisseur sensible qui altère l'exactitude de l'image sur les bords, cette aberration a reçu le nom d'***aberration d'épaisseur*** ou plus communément de ***distortion***.

Une dernière aberration résulte de la position de la lentille par rapport aux points situés obliquement à son axe; les deux méridiens de la lentille ayant une distance focale différente. Cette aberration a reçu le nom d'***astigmation***.

Section I. — *L'aberration sphérique.*

Aberration sphérique transversale et longitudinale, positive et négative. — Les rayons lumineux parallèles *rr* (fig. 29) qui émergent les bords d'une lentille convexe LL' se croisent en *f'* plus près de la lentille que les rayons *r'r'* qui tombent sur le centre, ceux-ci se croisant en *f*. Cela provient de ce que les courbures de la lentille sont des surfaces *sphériques*, de là le nom d'***aberration sphérique***.

On peut facilement reconnaître l'aberration sphérique dans une lentille simple convergente en recevant l'image du soleil à son foyer. Pour cela on la présente aux rayons solaires de manière que ceux-ci tombent perpendiculairement à son contour et l'on cherche en reculant ou en avançant un papier blanc derrière la lentille, l'endroit où l'image se forme avec netteté. (Pour atteindre plus facilement ce but réduisez la lentille à sa partie centrale en la couvrant d'un carton circulaire découpé, puis enlevez le carton.) Si la lentille a un foyer un peu court, si c'est, par exemple, une de ces lentilles dont on se sert comme *loupes*, on reconnaît qu'autour de l'image la plus nette possible du soleil, il y a une auréole *ab* (fig. 29) de lumière blanche qui constitue l'***aberration sphérique transver-***

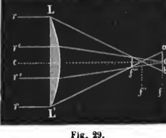


Fig. 29.

sale. En effet, c'est en *f*, foyer des rayons incidents qui tombent sur le centre de la lentille que se forme l'image la plus nette possible des objets situés à l'infini (et le soleil est dans ce cas) tandis que les rayons *rr* tombant sur les bords de cette même lentille L et ayant leur foyer *f'* plus près, continuent leur chemin et vont former une auréole ronde *ab* autour du point *f*. Le diamètre *ab* de ce cercle constitue la mesure ou, comme on le dit encore, l'*expression* de l'aberration sphérique transversale (ou diamètre du cercle d'aberration). On appelle ***aberration longitudinale*** la distance *ff'* (mesurée sur l'axe de la lentille) qui sépare le foyer *f* des rayons centraux du foyer *f'* des rayons extrêmes.

Le cercle de la ***moindre aberration*** se trouve entre *f'* et *f*. C'est la section la plus petite possible faite dans le cône de rayons émergents de la lentille.

Dans les lentilles négatives le rayon *p'* parallèle à l'axe *c'c* d'une lentille divergente LN et tombant sur sa partie centrale, émerge suivant *om*, qui, prolongé, coupe l'axe en *f'* qui est donc le foyer principal de cette lentille. Un rayon *r* parallèle au premier tombant sur le bord de la lentille L émerge suivant *nq* qui prolongé coupe l'axe en *f*. Donc le foyer des rayons extrêmes est plus long que le foyer des rayons centraux. On dit dans ce cas que l'***aberration est négative***.



Fig 30.

L'aberration sphérique varie avec l'ouverture et l'indice de réfraction du verre de la lentille. — Puisque l'aberration sphérique dépend de la *sphéricité* des faces constituant la lentille, il est parfaitement clair que plus ces faces sont convexes, c'est-à-dire plus courts sont les rayons de courbure relativement au diamètre de la lentille, plus considérables sont les aberrations de sphéricité.

Dans ce cas se trouvent les lentilles qui ont un court foyer relativement à leur distance focale. Au contraire, l'aberration

de sphéricité est sensiblement nulle quand le diamètre de la lentille n'est pas supérieur au quinzième de sa distance focale.

L'aberration longitudinale croît ou diminue comme le carré du diamètre de l'ouverture et en raison inverse de la distance focale. L'aberration transversale est proportionnelle *au cube* de l'ouverture et en raison inverse du carré de la distance focale.

Ainsi donc comparons deux lentilles de même matière et de mêmes rayons de courbure, mais dont la première aurait un diamètre double de l'autre. Elle aura une aberration longitudinale 4 fois aussi considérable que la seconde, et un cercle d'aberration 8 fois aussi grand.

De deux lentilles de même ouverture dont les distances focales sont entr'elles comme 1 à 2, celle-là qui aura 2 comme distance focale aura la moitié d'aberration longitudinale de l'autre et le quart seulement d'aberration transversale.

Plus l'indice de réfraction de la matière dont est formée une lentille est grand, et moins grands seront, pour la même distance focale déterminée, ses rayons de courbure, par conséquent son aberration de sphéricité. Il en résulte que dans les objectifs qui ont une aberration donnée, on pourra diminuer celle-ci en se servant de matières transparentes très-refringentes.

La figure 31 rend ce fait frappant. A et B sont deux lentilles ayant exactement la même distance focale, mais formées de matières réfringentes différentes. La première est en verre dont l'indice est de 1,5; la seconde en diamant dont l'indice est de 2,5. Le rayon de courbure de la première est trois fois aussi court que celui de la seconde, aussi possède-t-elle une aberration beaucoup plus considérable.



Fig. 31.

Minimum d'aberration sphérique. — Pour une distance déterminée du point rayonnant situé sur l'axe d'une lentille, le calcul, d'accord avec la pratique, lui assigne des rayons de courbure et une position

où l'aberration est la moindre possible. Pour cela il faut connaître l'indice de réfraction de la matière dont la lentille est formée.

Ainsi avec le crown ordinaire, dont l'indice de réfraction est de 1,5, les deux rayons de courbure doivent être entr'eux comme 1 à 6, la face la plus convexe (dont le rayon de courbure est 1) étant tournée du côté du point rayonnant que nous supposons placé à l'infini. Si l'indice augmente, le rapport des deux faces augmente aussi. Ainsi pour le flint lourd (1,6), la forme plan convexe est la plus avantageuse.

Pour le diamant dont l'indice de réfraction est 2,5 il faudrait un ménisque dont la face convexe aurait 2 et la face concave 5 comme rayons de courbure.

Si le point rayonnant, au lieu d'être situé à l'infini en émettant par conséquent des rayons parallèles par rapport à la lentille, se rapproche de celle-ci, on doit le considérer comme émettant des rayons divergents et pour que cette lentille présente le minimum d'aberration il faut que ses courbures changent. A mesure que le point rayonnant se rapproche de la lentille, la face qui le regarde et qui avait dans le cas cité plus haut 1 pour rayon de courbure (l'autre ayant 6) devient moins convexe par rapport à l'autre, par exemple successivement 2 à 5, 3 à 4, 4 à 3, 5 à 2 et enfin, si le point rayonnant arrive au foyer principal de la lentille : 6 à 1. On voit donc que la lentille est maintenant renversée.

Destruction de l'aberration sphérique par le diaphragme. — Une lentille quelconque convergente ou divergente dont les rayons de courbure sont longs ou courts, dont par conséquent l'aberration est faible ou considérable, est réduite par un petit diaphragme placé sur son axe à une lame *abdc* (fig. 46) qui est presque à faces parallèles. Aussi est-elle désormais exempte d'aberration sphérique, cette lentille M, en effet, telle que la représente notre figure, serait réduite au $^1/_{6^e}$ de son diamètre, puisque sa distance focale reste la même, donc, suivant ce que nous avons vu tout à l'heure, son aberration transversale serait réduite au

36°, c'est-à-dire annulée ou presqu'annulée. On peut s'en convaincre en présentant cette lentille aux rayons solaires tombant normalement à son contour. Avec toute son ouverture l'image du soleil est entourée de l'auréole transversale due à l'aberration de sphéricité. Vient-on à interposer le diaphragme. dès lors cette auréole disparaît, et l'image devient ainsi incomparablement plus nette, c'est que les rayons réfractés par les bords de la lentille, lesquels rayons troublaient l'image, sont supprimés par l'obturateur.

Néanmoins, jamais le diaphragme *ne détruit complétement* l'aberration de sphéricité des lentilles, elle ne fait que la réduire à une très petite quantité. On la détruit cependant complétement de la manière suivante.

Destruction de l'aberration sphérique d'une lentille par une seconde lentille de signe contraire. — Supposons une lentille L (convergente par exemple) dont nous voulons détruire complétement l'aberration suivant l'axe.

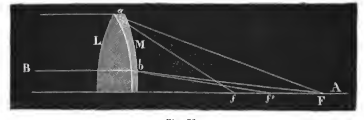


Fig. 32.

L'expression ff' de l'aberration nous est fournie par les points où un rayon infiniment voisin de l'axe et un rayon extrême (tous deux parallèles à l'axe) vont couper l'axe en émergeant de la lentille. Maintenant associons à la lentille convergente L une lentille divergente M.

Il est aisé de concevoir que cette lentille divergente, *si ses rayons de courbure sont convenables*, ne changera presque pas la direction du rayon bf' qui sera seulement dévié en F, f'F étant une très-petite quantité, tandis qu'elle changera fortement la direction

du rayon *af* (puisque sa forme prismatique est plus forte au bord qu'au centre) de manière à le diriger aussi sur le point F.

Une telle association de lentilles constitue en somme une lentille unique, convergente, mais exempte d'aberration sphérique. De telles lentilles sont dites ***aplanétiques***, et le calcul indique avec une exactitude absolue leurs données numériques.

La lentille divergente M peut avoir une face commune avec la lentille L et les deux lentilles dès lors collées ensemble. Les lentilles peuvent aussi être séparées par un intervalle plus ou moins grand et avoir par conséquent un diamètre différent.

Un exemple d'une telle combinaison aplanétique se trouve au chapitre des agrandissements : appareil dyalitique. La lentille convergente dans ce système a un diamètre de 19 pouces et une distance focale de 38, et l'aberration sphérique en est corrigée par une lentille de 9 1/2 pouces qui a à peine 1 centimètre d'épaisseur sur ses bords, et qui n'allonge presque pas la distance focale de la première.

La nature du verre peut être la même pour les deux lentilles, ou, comme c'est le cas presque général, différente, parce que le plus souvent, comme nous le verrons bientôt, non seulement la lentille négative corrige l'aberration sphérique, mais encore l'*aberration chromatique*.

Comme l'aberration chromatique surpasse toujours, en importance, l'aberration sphérique, et que l'on cherche par conséquent à corriger surtout la première, il arrive fréquemment que la lentille négative corrige trop ou trop peu l'aberration sphérique de la lentille convergente à laquelle elle est associée. Si elle la corrige trop, on dit que le système possède de l'aberration sphérique de caractère *négatif*, parce qu'alors les rayons émergeant du bord coupent l'axe plus loin que ceux du centre. Si elle la corrige trop peu, l'aberration est *positive*.

Il est impossible de construire une lentille convergente ou d'en associer deux ou plusieurs dont l'axe est commun de manière à détruire leur aberration sphérique. Beaucoup de traités

de physique contiennent l'assertion contraire(1), mais c'est une erreur évidente.

Inutile d'ajouter, pour finir ce paragraphe, qu'il faut, pour corriger l'aberration des lentilles convergentes, leur associer des lentilles divergentes, et inversément, pour corriger l'aberration de ces dernières, leur associer les premières.

Aberration sphérique pour les pinceaux obliques à l'axe. Les coma. — Nous n'avons considéré jusqu'ici que l'aberration résultant des pinceaux parallèles à l'axe des lentilles, mais dans les objectifs photographiques qui embrassent un angle fort considérable (de 30 à 90°) ce cas n'est applicable qu'à une petite portion de l'objectif, à savoir, sa partie centrale. Nous devons donc examiner aussi ce qui constitue l'aberration des pinceaux très obliques à l'axe principal d'une lentille, aussi bien d'une lentille simple, que d'un système aplanétique de lentilles.

Quand des rayons lumineux parallèles vont frapper obliquement une lentille, l'aberration longitudinale change pour deux diamètres perpendiculaires de la lentille et est la plus grande dans le plan passant par l'axe de la lentille et le point rayonnant. Il s'en suit que l'auréole A (fig. 33) (cercle d'aberration) qui entoure l'image d'un point lumineux au foyer d'une lentille simple, circulaire si ce point est situé sur l'axe, s'allonge à mesure que ce point s'éloigne de l'axe et prend des formes B, C, D qui s'allongent de plus en plus en se terminant en pointe à la partie supérieure qui leur a fait donner le nom de **coma**.

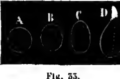


Fig. 33.

Un système aplanétique, c'est-à-dire parfaitement exempt

(1) M. Daguin et beaucoup d'autres auteurs de traités de physique répètent cette erreur dont l'origine est un mémoire de sir John Herschel dans lequel l'illustre astronome s'étant trompé dans la traduction en chiffres de ses formules analytiques, donne des associations de lentilles convergentes qui auraient dû être aplanétiques, et qui ne le sont pas. Sir John Herschel a du reste rectifié ce mémoire plusieurs années après.

d'aberrat'on sphérique suivant l'axe, n'est plus exempt de cett[e] aberration si les pinceaux tombent obliquement à l'axe.

Soit AB (fig. 34) une lentille simple plano-convexe, HF un axe passant par le centre optique faisant avec l'axe principal DE un angle considérable (15 à 30° par exemple) et considérons deux rayons RI(1) parallèles, frappant la lentille au-dessus et au-dessous de HF. Le rayon supérieur ira couper l'axe en F′, le second plus loin en F. L'image du point lumineux ne sera plus un point unique, mais paraîtra muni d'une chevelure ou ***coma***(2) dont la direction est dans le sens inférieur. En effet, les rayons provenant de la partie inférieure de la lentille sont plus condensés en un point F que ceux provenant de la partie supérieure qui se dispersent au-dessous de ce point après avoir coupé l'axe en F′.

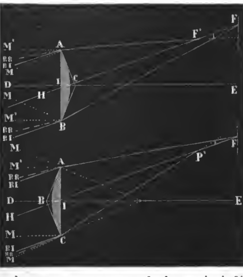


Fig. 34.

Fig. 35.

Si l'on retourne la lentille (fig. 35) de manière que les rayons incidents tombent sur sa face convexe, alors les coma au lieu de se trouver dirigés vers l'intérieur se trouvent dirigés vers l'extérieur.

---

(1) Dans les figures 34 et 35, RI désignent les rayons incidents, RR les rayons réfractés, M les normales à la face convexe, M′ les normales à la face plane, AC, CB les plans tangents aux points d'incidence ou d'émergence.

(2) J. Lister. *On some properties in achromatic object glasses, Phil. Transactions* (1830.)

Si au lieu de ne considérer que deux rayons incidents, on a égard à un nombre infini de rayons R^1, R^2, R^3, (fig. 36) etc., frappant obliquement la surface plane d'une lentille plano-convexe AB, il y aura, pour chaque deux rayons immédiatement voisins choisis dans le plan passant par l'axe principal, une distance focale différente. La construction de la figure fait voir que R^1, R^2, etc., étant parallèles après la réfraction à la surface plane de la lentille suivant les lignes pointillées *r*, émergeront tous suivant RE^1, RE^2, etc., en faisant des angles différents avec les normales *n'* à la surface courbe et aux points d'émergence, et avec l'axe oblique R^1,RE^1 que nous avons choisi (arbitrairement). Aussi les pinceaux incidents R^1 et R^2, R^2 et R^3, etc. auront-ils pour distances focales (fig. 37) les points f^2, f^3, etc.

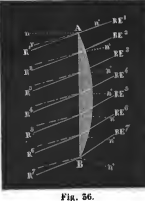


Fig. 36.

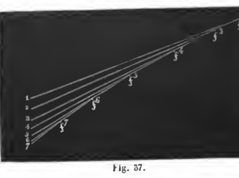


Fig. 37.

Destruction de l'aberration pour les pinceaux obliques à l'axe. — En choisissant convenablement les rayons de courbure des deux lentilles qui constituent la lentille unique employée en photographie (corrigée pour l'aberration chromatique suivant son axe principal), et en disposant au-devant d'elle un diaphragme dont l'ouverture ne dépasse pas $^1/_{30}$e de sa distance focale, on réduit son aberration sphérique à une quantité fort petite aussi bien pour les pinceaux parallèles à l'axe que pour les pinceaux très-obliques.

Le diaphragme doit être placé à une distance convenable de la lentille. Il fait donc de celle-ci une réunion de lentilles dont chacune a sensiblement le diamètre de l'ouverture du diaphragme et dont chacune agit spécialement sur des pinceaux plus ou moins obliques, le centre de la lentille regardant seulement les points de l'objet situés suivant l'axe tandis qu'il est aveugle pour tous les autres et les bords regardant seulement les points de l'objet situés très-obliquement.

C'est ce que du reste nous expliquerons plus amplement en parlant du diaphragme (voir page 105).

Effet de l'aberration sphérique dans les objectifs photographiques et comment on le constate. — L'effet de l'aberration sphérique dans les systèmes d'objectifs employés en photographie est de détruire la netteté de l'image aussi bien au centre de cette image que sur ses bords. On peut facilement en faire l'expérience, en enlevant les diaphragmes de l'objectif connu par les photographes sous le nom *d'objectif simple à paysages* et en examinant l'image que donne alors cet objectif: elle manque absolument de netteté.

Dans d'autres objectifs, dans lesquels l'aberration sphérique est corrigée par la disposition des lentilles qui les constituent, par exemple, dans l'objectif connu sous le nom « *d'objectif à portrait* (*à verres combinés*) pour reconnaître si cette aberration est bien entièrement détruite, examinez l'image de deux petits cercles d'étain(1) tangents collés sur une fenêtre exposée au jour direct. Pendant que vous examinez l'image avec une loupe, mettez un diaphragme à l'objectif qui réduise son ouverture à moitié. Si dans ce dernier cas l'image des cercles d'étain gagne en netteté, ce que vous observerez surtout à leur point de contact, l'aberration n'est pas complétement corrigée.

C'est suivant l'axe de l'objectif qu'il faut faire cet essai, parce

(1) Deux pains à cacheter conviennent aussi.

que c'est seulement suivant cet axe que l'aberration sphérique peut être complètement corrigée.

Si après avoir mis le diaphragme, il faut reculer le plan focal (le verre dépoli de la chambre noire) pour conserver à l'image sa netteté primitive, l'objectif possède l'aberration *positive*, s'il faut l'avancer, l'aberration *négative*.

L'examen se fait du reste encore mieux en reproduisant par la photographie les pains à cacheter, d'abord avec toute l'ouverture de l'objectif, puis avec l'objectif muni d'un petit diaphragme et sans changer la mise au point. Les deux images doivent rester également fines.

L'aberration sphérique sert à diviser les objectifs photographiques en deux classes bien distinctes. — Il existe différents modèles d'objectifs photographiques. Les uns peuvent s'employer avec leur ouverture entière et donnent alors une image nette mais de peu d'étendue, les autres (employés avec toute leur ouverture) ne donnent que des images confuses. C'est que les premiers sont ***aplanétiques***, c'est-à-dire, que leur aberration est corrigée par la disposition des lentilles qui les constituent et que les seconds ne le sont pas. Les objectifs photographiques aplanétiques comprennent :

1° L'*objectif double* de ***M. Petzval.***

2° L'*orthoscopique* de ***M. Petzval.***

3° Le *triplet* de ***M. J. H. Dallmeyer.***

Les objectifs *non aplanétiques* comprennent :

1° L'*objectif simple* ordinaire.

2° L'*objectif simple* (à trois lentilles) de ***M. Dallmeyer.***

3° Le *doublet* de ***M. Thomas Ross.***

4° Le *globe-lens* (objectif globe) de ***Harrison*** et ***Schnitzer.***

5° L'objectif *panoramique* de ***M. Sutton.***

6° le *doublet* de ***M. Steinheil.***

Un examen attentif de cette dernière classe d'objectifs démontre que la netteté des images qu'ils fournissent (même quand on les emploie avec de fort petits diaphragmes) n'est pas aussi parfaite

que celles des images produites par les objectifs aplanétiques surtout si l'on compare, dans la première série, l'objectif orthoscopique et le triplet (qui sont le mieux aplanétiques) avec l'objectif-globe qui possède une aberration sphérique très-considérable. On s'en assure en examinant l'image de lettres noires très-fines imprimées sur un fond blanc très-uni, les cartes de visite gravées par exemple. Les objectifs aplanétiques ne font rien perdre aux traits les plus fins tandis que les autres font disparaître ces traits. C'est surtout au centre de l'image (qui correspond à l'axe de l'objectif) qu'il faut faire cette comparaison. Il faut d'ailleurs, dans cet essai, munir les objectifs de diaphragmes dont l'ouverture est proportionnelle à leur distance focale respective ($\frac{1}{50}$ de cette distance focale).

Section II. — *L'aberration chromatique.*

Foyer visuel et foyer chimique. — L'image d'un point blanc A (fig. 38) situé à distance d'une lentille L qui se forme à son foyer principal R manque de netteté parce qu'elle y est entourée d'une auréole violette. En V, plus près de la lentille l'image du point est entouré d'une auréole rouge. Ceci provient de ce que le point blanc A émettant des rayons de réfrangibilité différente, après la réfraction ces rayons sont séparés, et, le violet étant plus réfrangible que le rouge, a son foyer en V tandis que le rouge l'a en R.

Fig. 38.

Si nous cherchons à obtenir du point A une image photographique en nous servant d'une lentille simple L, nous trouverons qu'en plaçant la surface photographique en R, là où l'image du point nous paraît la plus nette, nous n'en obtiendrons qu'une image confuse, et que, en avançant successivement la surface photographique vers la lentille, l'image retenue sera de plus en plus nette jusqu'en V où elle sera d'une netteté parfaite.

C'est que les rayons qui ont le plus d'éclat, qui dominent notre œil, se trouvent précisément avoir leur foyer en R, où par conséquent l'image nous paraît le plus nette, que ces rayons n'impressionnent presque pas les surfaces photographiques, tandis que les plus obscurs (le bleu, l'indigo, le violet), qui échappent presque à notre œil, sont précisément les plus actifs eu égard à la surface photographique.

Si donc nous nous servons comme objectif photographique d'une lentille simple, quand bien même celle-ci serait limitée (comme le montre du reste notre figure 38) à une très-petite ouverture, pour réduire à une petite quantité l'aberration de sphéricité, la mise au point de l'image sur le verre dépoli, exacte pour l'œil, ne le serait pas pour les surfaces photographiques, qui donnent, en place d'une image nette, une image confuse. De là les noms de *foyer visuel* pour désigner le foyer d'une lentille jugé par l'œil, et de *foyer chimique* pour désigner son foyer vu par les surfaces photographiques. Ces deux foyers, dans un objectif photographique, doivent coïncider, sinon l'on dit que l'objectif a un foyer chimique.

Si le lecteur se rappelle ce que nous avons dit page 46 à propos de la dispersion des prismes et page 68 à propos de la distance focale des lentilles, il lui sera bien facile d'évaluer la différence entre les foyers visuel et chimique, quand on connaît la distance focale de la lentille et son indice de réfraction, ou ce qui revient au même ses rayons de courbure. Ainsi je suppose que l'on veuille savoir quel sera le foyer chimique d'une lentille plano-convexe dont le rayon de courbure est 1 mètre, l'indice de réfraction du jaune étant 1,5 et celui du violet 1,52? La formule $f = \frac{R}{(n-1)}$ nous donne pour le foyer du jaune 666 millimètres, et pour le violet 658 mill. soit le foyer chimique de 8 mill.

En réalité ce foyer chimique serait beaucoup plus considérable, parce que, au lieu de ne considérer que la partie centrale de la lentille qui est exempte d'aberration sphérique, il faut tenir

compte de l'erreur provenant des bords de cette lentille, dont l'aberration sphérique est considérable On compterait donc le foyer chimique à partir du foyer absolu (celui des rayons jaunes émergant de la partie centrale de la lentille) et du foyer des rayons bleus émergeant de la partie periphérique de la lentille, rayons bleus qui vont couper l'axe d'autant plus près de la lentille que son ouverture est plus grande, fait provenant de l'aberration sphérique. De là la nécessité, pour achromatiser une lentille de détruire d'abord son aberration sphérique.

Destruction de l'aberration chromatique. — Le moyen le plus simple d'achromatiser une lentille (ou un système de lentilles) consiste à interposer au-devant d'elle une cuvette à glaces parallèles contenant une solution de chlorure de cuivre dans l'ammoniaque. Ce liquide est d'un bleu foncé. On l'étend du reste d'eau jusqu'à ce que la solution, tout en étant moins foncée, ne laisse passer que cette couleur, ce qu'on vérifie aisément en regardant au travers d'un prisme une bande de papier blanc placée au devant de la cuvette. Vue directement la bande est irisée de rouge et de jaune d'un côté, de bleu et de violet de l'autre. Vue à travers la solution bleue, le rouge et le jaune disparaissent complètement si la teinte de la solution est convenable.

Le chlorure de cuivre ammoniacal ne laissant passer que le bleu, achromatise donc les lentilles simples, et laisse aussi passer les rayons chimiques, cependant une grande partie de ces rayons est absorbée et son usage serait du reste fort embarassant.

Le diaphragme appliqué au devant d'une lentille ne corrigeant pas l'aberration chromatique comme l'aberration sphérique, il y a donc nécessité absolue de procéder pour les lentilles comme on le fait pour les prismes en leur associant une seconde lentille d'un pouvoir dispersif différent. Après ce que nous avons vu pages 48 et suivantes, l'exposition de l'achromatisme des lentilles ne nous offrira plus aucune difficulté.

La fig. 39 montre comment s'associent ces lentilles. La pre-

mière, en commençant en haut et à gauche est un ménisque divergent, la seconde une lentille plan-convexe, la troisième une lentille bi-concave à faces concaves égales entr'elles. Les lentilles au-dessous sont les mêmes, mais convergentes. D'ordinaire, dans une combinaison achromatique, la lentille convergente est en *crown*, la lentille divergente en flint et les deux ont une face commune qui sert à les coller.

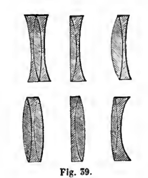


Fig. 39.

Supposons le cas de l'achromatisme d'une lentille bi-convexe en crown dont R et R′ sont les rayons de courbure. n_v et n_r les indices de réfraction pour le rouge et le violet. Les distances focales f et f_1 de cette lentille seront

$$f = \frac{RR'}{(n_r - 1)(R + R')},$$

$$f_1 = \frac{RR'}{(n_v - 1)(R + R')}.$$

Associons à cette lentille convergente une lentille divergente ayant une face commune R′ avec la 1re, et une face inconnue R″. Mais R′ sera nécessairement négatif, puisqu'elle appartient à la lentille divergente. Soient n'_r et n'_v les indices de réfraction, nous aurons pour ses distances focales

$$f' = \frac{R'R''}{(n'_r - 1)(R - R'')},$$

$$f_1' = \frac{R'R''}{(n'_v - 1)(R - R'')}.$$

Or, que le lecteur se rappelle la formule qui lie la distance p du point rayonnant p' du foyer conjugué à celle du foyer principal :

$$[1]\cdots\quad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

et qu'il tienne compte que la lentille négative allongeant la distance focale p' qui devient p'', en donnant une nouvelle distance focale principale f_1 pour l'ensemble, et on aura :

$$[2] \cdots\cdots \quad \frac{1}{p''} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'}.$$

Ces deux équations ajoutées donnent

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p''} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{p''_1} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_1'}$$

p_1'', f_1, f_1', se rapportant au violet, p'', f et f' au rouge.

Or, il faut, pour que l'achromatisme résulte de l'association des deux lentilles que p'' et p_1'' soient égales, c'est-à-dire que le foyer du rouge et du violet se fasse au même point. Ces valeurs seront égales si le système réalisé permet d'écrire

$$[3] \cdots\cdots \quad \frac{1}{f} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_1'}.$$

Dans ces équations, substituons les valeurs de f, f', f_1, f_1' obtenues plus haut en fonction de R, R', R'' et n, n', et nous en tirerons

$$R'' = \frac{RR'(n'_v - n'_r)}{R(n'_v - n'_r) = (R + R')(n_v - n_r)},$$

$$R'' = \frac{R(n'_v - n'_r)}{(n'_v - n'_r) - 2(n_v - n_r)}.$$

Or, R et R' sont connus, ce sont les rayons de courbure de la lentille convergente, les indices de réfraction du crown et du flint sont aussi connus, donc la lentille divergente de flint aura pour rayons de courbure R' et R''.

On suppose ici l'ouverture de la lentille fort petite, car nous négligeons son épaisseur.

De plus, l'on n'a pas tenu compte ici de l'aberration de sphéricité de la première ni de la seconde lentille et c'est ce qu'on aurait dû faire.

Destruction des aberrations chromatique et sphérique dans les lentilles d'une grande ouverture. — Il est facile de lier entre elles les équations qui permettent de construire des lentilles aplanétiques et celles qui permettent de les achromatiser. Mais ces équations, fort simples du reste, ne s'appliquent qu'au cas où la lentille a une très-petite ouverture, c'est-à-dire où l'on peut regarder son épaisseur comme nulle[1].

Or, si la lentille possède un diamètre considérable relativement à sa distance focale, c'est tout au plus si ces formules s'appliquent à la partie centrale du système aplanétique et achromatique, et elles ne peuvent du reste servir qu'à donner les éléments numériques de cette partie. Cependant il faut de toute nécessité que le reste de la surface des lentilles présente les propriétés de sa partie centrale et c'est cette recherche qui constitue la vraie difficulté pour l'opticien.

En effet, dans une lentille aplanétique achromatisée il faut non seulement que les rayons incidents tombant sur ses bords et sur son centre (parallèlement à son axe) émergent de la lentille de manière à couper l'axe au même point, il faut encore que les rayons tombant sur la partie moyenne de la lentille présentent la même propriété. La lentille négative d'un système achromatique, doit donc, avant tout, corriger l'aberration sphérique de la lentille positive avec laquelle elle est associée (sans cela pas d'achromatisme parfait possible), et puis corriger l'aberration de réfrangibilité. Elle peut remplir la première condition sans remplir la seconde, mais ne saurait remplir la seconde sans aussi satisfaire à la première, au moins au point de vue théorique.

Les formules que l'on peut appliquer à une lentille aplanétique achromatique de grande ouverture ne peuvent être traduites en

(1) On peut poser des équations où une seconde approximation tient compte de l'épaisseur. En les employant, on abrège de beaucoup le calcul. (Voyez Coddington, *Treatise on optics.*)

données numériques à cause du nombre d'autant plus grand d'inconnues qu'elles renferment que l'on cherche une approximation plus grande. Il faut donc avoir recours au tâtonnement en retravaillant un grand nombre de fois les surfaces et ce travail est parfois très-long et très-pénible.

Aberration chromatique pour les pinceaux obliques à l'axe. — De même qu'il est impossible de construire une lentille exempte d'aberration sphérique suivant son axe et obliquement à cet axe, de même on ne peut construire des lentilles exemptes d'aberration chromatique dans ces circonstances. Car une combinaison de lentilles peut être assimilée à une combinaison de prismes et nous avons vu que l'achromatisme d'un prisme n'est possible que par rapport à des rayons d'une incidence déterminée (page 48, ligne 30).

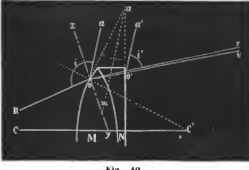


Fig. 40.

Soit M une lentille bi-convexe de crown achromatisée pour les rayons incidents parallèles à son axe CC′ par la lentille plan-concave de flint N, et soit RO un rayon incident oblique à l'axe. Ce rayon, à l'émergence, sera décomposé suivant *ro′v* qui forme l'angle de dispersion. La partie de la lentille traversée par le rayon peut être représentée par le prisme (en lignes pointillées sur la figure) *oao′*; *ao*, *ao′* étant les normales menées aux points d'immersion et d'émersion. Or l'angle *i* que forme le rayon incident RO avec la parallèle *oa* à la bissectrice *am* du prisme *a*, est bien plus grand que l'angle *i′* formé par les rayons émergents avec la parallèle *o′a′* à la même bissectrice *ma*. Or, pour que l'angle de dispersion *ro′v* fut aussi petit que possible, il faudrait que ces angles *i* et *i′* fussent égaux, ce qui assignerait la posi-

tion xy à la bissectrice *am*. Pour cela la lentille retournée offrirait mieux cette condition et c'est en effet ainsi qu'on l'emploie dans l'*objectif simple*, mais pour la remplir complètement, un ménisque dont la face concave en regard du point rayonnant est d'un court rayon de courbure, est plus favorable. ***M. Dallmeyer***, à Londres, est le premier opticien qui ait construit l'objectif simple conforme à cette théorie.

Cet objectif que nous représentons fig. 41 sous forme d'une lentille simple, quoique, en réalité il y en eut trois collées ensemble, est un ménisque convergent M dont la face P tournée vers les objets à reproduire est concave et d'un rayon de courbure relativement très-court. Suivant son axe principal CC, cet objectif est bien exempt d'aberration chromatique, mais pour les pinceaux très-obliques tels que RO, l'achromatisme ne subsiste plus. Au-devant de l'objectif se trouve un diaphragme D qui limite l'étendue des faisceaux incidents. Soit RO un rayon incident très-oblique à l'axe, NO la bissectrice du prisme représenté par les deux faces tangentes aux points d'immergence et d'émergence de la lentille traversés par ce rayon, et nous trouverons que les rayons refractés RO et RV forment avec cette bissectrice des angles NOR, NOV′ sensiblement égaux entr'eux et à l'angle NOR′. Aussi l'angle de dispersion R′OV′ qui est la mesure directe de l'aberration chromatique est-il très-petit, tandis qu'il est beaucoup plus considérable dans les objectifs simples ordinaires.

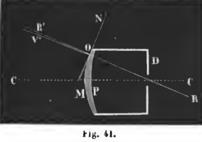


Fig. 41.

Les conséquences de l'impossibilité où l'on se trouve de corriger à la fois l'aberration chromatique suivant l'axe et obliquement à cet axe d'une même lentille a une conséquence assez fâcheuse. C'est que, en parlant le langage du photographe, si telle image nette sur le verre dépoli l'est aussi sur la surface photographique,

ce qui prouve que l'objectif n'a pas de foyer chimique, cela n'a lieu qu'au centre du verre dépoli. Si cette expérience est faite sur les bords du verre dépoli, l'image, parfaitement nette à l'œil, ne l'est plus pour la surface photographique, car il y a pour les pinceaux obliques à l'axe un foyer chimique souvent considérable qu'il est très-important de réduire au minimum.

Position du foyer chimique par rapport au foyer visuel. — Il peut arriver que les pouvoirs dispersifs des matières constituant l'objectif n'ayant pas été mesurés exactement, l'aberration chromatique soit insuffisamment corrigée ou le soit trop. Dans le premier cas, le violet ayant son foyer plus près de la lentille que le rouge, le foyer chimique sera situé plus près de la lentille que le foyer visuel. Si au contraire l'aberration chromatique est trop corrigée, alors le rouge aura son foyer plus près de la lentille que le violet, et le foyer chimique sera situé plus loin de la lentille que le foyer visuel. On voit donc qu'il en est exactement de l'aberration chromatique comme de l'aberration sphérique, ou une lentille convergente composée de deux lentilles, l'une convergente, l'autre divergente (l'ensemble étant convergent), peut offrir les caractères de l'aberration négative propre aux lentilles simples négatives. (Voyez page 85.)

SECTION III. — *Aberration de forme de l'image, ou courbure du champ.*

De l'image courbe. — L'image des objets extérieurs formée au foyer d'une lentille ne saurait être reçue sur un écran plan ainsi que nous l'avons supposé jusqu'ici (voyez page 72), cet écran devrait avoir une forme concave, ce qui constitue la ***courbure du champ*** de l'image. En effet, choisissons dans un plan très-éloigné trois points A, B, C (fig. 42), à peu près également distants de la lentille convergente D, un des points B étant

dans l'axe de cette lentille, les deux autres hors de cet axe et examinons la forme de l'image en arrière de cette lentille. Il est clair, que l'image des trois points se formera à des distances

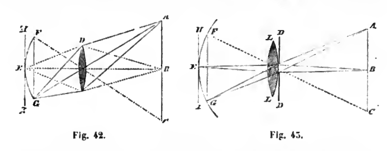


Fig. 42. Fig. 43.

du centre optique de la lentille D à peu de choses près égales à sa distance focale principale. Le champ FEG sera donc courbe et l'image ne saurait être reçue sur un plan HI, à moins de sacrifier la netteté de l'image des points A et C.

Cette aberration des lentilles est généralement attribuée par les photographes à l'aberration sphérique. Ils s'imaginent, en voyant l'image nette au centre du verre dépoli de la chambre noire, et confuse sur les bords, que cet effet provient de la sphéricité des faces des lentilles. Il n'en est rien car une lentille avec des courbures paraboliques donnerait le même résultat.

Avant d'expliquer comment on corrige l'aberration de forme, nous devons examiner ce qu'on entend par la *profondeur de foyer* d'une lentille et par le *diaphragme.*

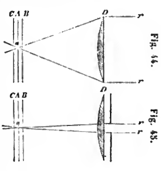
De la profondeur de foyer. — La profondeur de foyer est une propriété des lentilles de donner une image nette de plans dont la distance est inégale. Il s'en suit qu'un verre dépoli placé au foyer d'une lentille peut se mouvoir d'une *très-petite quantité* sans que l'image perde sensiblement de sa netteté.

Pour le prouver expérimentalement, dirigeons une chambre noire munie d'un objectif simple sur un paysage. Mettons au point les objets les plus éloignés. Nous remarquerons bientôt deux choses; la première c'est que l'on peut avancer ou reculer d'une petite quantité le verre dépoli sans que la netteté de l'image d'un

plan déterminé du paysage change sensiblement. La seconde, que si nous mettons au point le plan le plus éloigné, beaucoup d'autres plans plus rapprochés seront encore au point.

La même expérience peut se faire avec une lorgnette de spectacle, que vous réglez sur des objets éloignés, de manière à voir ceux-ci d'une manière bien nette. Si vous dirigez à présent votre lunette sur des objets plus rapprochés, vous les verrez encore parfaitement nets. De même, en tenant votre lorgnette dirigée sur un objet éloigné, vous verrez que vous pouvez mouvoir l'oculaire d'une petite quantité, sans pour cela amoindrir sensiblement la netteté de l'image.

Il est à remarquer que la profondeur de foyer varie avec l'ouverture de la lentille, les fig. 44 et 45 rendent cela très-clair. Dans la fig. 44 nous nous servons d'une lentille ayant toute son ouverture. Les rayons *rr* émanés d'un point éloigné forment, après avoir traversé la lentille D, l'image du point en *a* sur un écran ou verre dépoli A. Mais place-t-on le verre dépoli plus en arrière ou plus en avant, en C ou en B par exemple, tout de suite l'image du point s'étale en cercle, l'angle *a* étant très-grand. La même lentille D (fig. 45) étant réduite à sa partie centrale par un obturateur, l'image du point se forme toujours en *a*, mais le verre dépoli peut être placé en C ou en B sans que cette fois l'image du point soit sensiblement altérée. C'est que dans la fig. 42 les rayons *rr* émergeant de la lentille sont beaucoup plus convergents que dans la fig. 45.



Il résulte donc de ce qui précède qu'une lentille convergente peut donner une image nette de plans distants entr'eux, ce qui semble tout d'abord contraire à la loi des foyers conjugués, mais l'expérience démontre que c'est seulement à la condition que ces plans soient suffisamment éloignés pour que leur image

se forme près de son foyer principal. Ainsi cette profondeur de foyer devient d'autant moindre que les objets se rapprochent davantage de la lentille, ainsi que le montre le petit tableau suivant, qui nous donne les distances focales d'une lentille de 10 cent. de foyer, pour des objets dont l'éloignement va en diminuant.

DISTANCE DE L'OBJET.	ALLONGEMENT DE DISTANCE FOCALE DE LA LENTILLE.
10,000 mètres.	0,001 millimètres.
1,000 »	0,01 »
100 »	0,1 »
50 »	0,2 »
10 »	1,01 »
5 »	2,04 »
4 »	2,6 »
3 »	3,5 »
2 »	5,3 »
1 »	11,1 »
50 centim.	25 »
40 »	33,3 »
30 »	50 »
20 »	100 »

Ce tableau est très-instructif. Il nous fait voir clairement que pour des objets éloignés de 50 mètres par exemple, la distance focale de la lentille ne s'allonge que de deux dixièmes de millimètres, quantité tout-à-fait inappréciable; pour 10,000 mètres elle s'allonge moins encore, seulement d'un millième de millimètre. Donc tous les objets situés de la lentille à plus de 50 mètres seront au point sur le verre dépoli, quelle que grande que soit leur distance.

Quand l'objet est au contraire situé très-près de la lentille, par exemple, à 30 centimètres, il faut tirer le verre dépoli de 5 centimètres; à 50 cent. de 2 1/2 cent., à 1 mètre de 11 mill. quantités relativement grandes. Aussi, les objets situés à une faible distance

de la lentille ne donnent-ils d'images nettes qu'à la condition de se trouver très-rapprochés entr'eux, de là la difficulté de les obtenir également nets dans l'image si cette condition n'est pas remplie.

Ainsi donc la profondeur de foyer d'une lentille varie avec son ouverture et la distance des objets qui forment l'image à son foyer. Elle varie encore suivant la forme de la lentille ou la combinaison optique des lentilles constituant un objectif. Les ménisques convergents ont le plus de profondeur de foyer, à condition que leur face concave regarde les objets. Parmi les objectifs composés de plusieurs lentilles, l'objectif *orthoscopique* a le plus de profondeur de foyer et l'*objectif double* ordinaire le moins.

Cela provient de ce que le premier a généralement une petite ouverture eu égard à sa distance focale et que, de plus, la lentille divergente placée à la suite de la lentille antérieure convergente rend les pinceaux émergents moins convergents. Le second, au contraire, a généralement une très-grande ouverture, de plus, les rayons émergents de la première lentille (celle qui regarde l'objet) sont encore rendus plus convergents par la seconde.

Effet de la profondeur de foyer sur la courbure du champ. — La fig. 42 fait voir que si un verre dépoli HI est placé au foyer principal de la lentille D, il n'y a qu'un seul point de net dans l'image des points A, B, C, c'est E; si on rapproche le verre dépoli de la lentille, alors le point E deviendra diffus et les points F et G gagneront en netteté, mais il sera impossible, avec toute l'ouverture de la lentille, d'amener nette l'image des trois à la fois. Mais voyons l'effet d'un obturateur DD placé au-devant de la lentille (fig. 43) et comparons les deux figures 42 et 43 aux figures 44 et 45. On voit d'un seul coup-d'œil que le verre dépoli HI (fig. 43) sur lequel le point E était seul au foyer dans l'exemple précédent, peut impunément se rapprocher d'une petite quantité de la lentille sans que, pour cela, l'image diminue sensiblement en netteté. De même, un autre verre dépoli qui passerait par les points F et G pourrait impunément s'éloigner d'une petite quan-



tité de la lentille sans que pour cela les points F et G perdissent de leur netteté. Il y a donc entre FG et HI une position telle pour le verre dépoli que les trois points F, E et G seront tous trois approximativement nets.

Ce rôle de l'obturateur qui réduit l'ouverture d'une lentille à sa partie centrale est d'une importance capitale. En réalité il ne fait qu'augmenter la profondeur de foyer de la lentille et c'est grâce à cette propriété qu'une lentille peut donner une image nette sur une surface plane. L'expérience se vérifie aisément en dirigeant sur un plan quelconque, une carte géographique par exemple, une chambre noire munie d'un objectif simple *retourné* dont on a ôté tous les diaphragmes. On ne parvient à rendre nette que le centre de l'image ou un petit carré situé symétriquement par rapport à ce centre. Mettez maintenant un diaphragme très-petit et vous reconnaîtrez que la netteté sera répartie sur une surface du verre dépoli beaucoup plus grande.

Du diaphragme(1). — Si l'obturateur A est placé comme nous l'avons montré dans la fig. 43, c'est-à-dire contre la lentille M, c'est comme si celle-ci était toute petite relativement à sa distance focale. Dans ce cas, remarquez s'il est fort petit, que la lentille peut être considérée contre une lame à faces parallèles *ab*, *cd* (fig. 46), que c'est donc à peu près comme s'il n'y avait pas de lentille. Le champ de la lentille ne sera certainement pas aussi courbe que si l'on employait la lentille avec toute son ouverture, mais il le sera encore beaucoup parce que la *profondeur de foyer* c'est-à-dire

Fig. 46.

(1) En optique *obturateur* et *diaphragme* sont synonymes. Mais en optique photographique il n'en est ainsi que par une malheureuse confusion de langage. L'obturateur réduit la lentille à son ouverture centrale ; le diaphragme, au contraire, laisse agir tous les segments de la lentille, mais sur les différents points rayonnants placés symétriquement et concentriquement par rapport à l'axe de la lentille ou du système de lentilles (dont l'axe est d'ailleurs toujours commun).

la quantité dont on peut mouvoir impunément le verre dépoli sans le sortir du foyer est en somme très-faible et que la

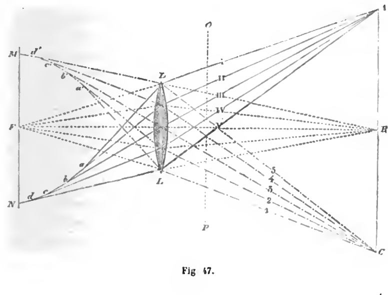


Fig 47.

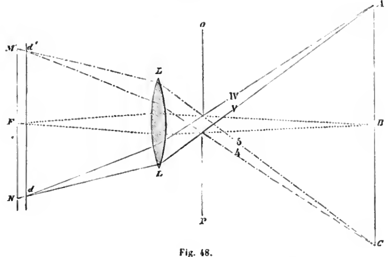


Fig. 48.

courbure du champ est très-forte. Voyons le cas quand on l'éloigne

de la lentille d'une quantité convenable. Dans ce cas l'obturateur devient un diaphragme.

Soient A, B, C, trois points rayonnants très-éloignés (fig. 47), LL une lentille convergente et voyons ce que deviennent en arrière de la lentille des rayons émanés de trois points A, B et C. Les rayons qui partent du point B (que nous supposons situé à l'infini et sur l'axe), arrivent parallèles sur la lentille et perpendiculairement à sa surface, dont ils iront former l'image du point B en F, foyer principal de la lentille LL. Mais il n'en est pas ainsi des rayons qui émanent des points A et C situés hors de l'axe de la lentille. Le rayon A^1 sera réfracté en a; A^2 en b; A^3 en c; A^4 en d; A^5 en N. Il en est de même des rayons 1, 2, 3, 4 et 5 émanés du point C. (Cet effet provient de l'aberration sphérique, dont nous avons parlé p. 88.) Aussi un verre dépoli placé au foyer principal F ne recevra-t-il pas d'image nette, mais confuse. L'expérience peut se faire aisément en examinant l'image d'un paysage au foyer d'un objectif photographique simple. Quand même ce verre dépoli aurait la forme d'une calotte sphérique encore l'image serait-elle confuse, parce que les rayons émanant des points situés hors de l'axe de la lentille arrivent tous en des points différents en arrière de la lentille. Pour avoir une image nette il faut donc placer en avant de la lentille un diaphragme, mais où faut-il le placer, et quelle sera son ouverture, voilà la question.

Remarquez sur la figure que les seuls pinceaux partant des points A et C qui arrivent à peu près à former leur foyer au plan focal MN sont les pinceaux A^4 et A^5 et C^4 et C^5. Plaçons le diaphagme en OP de manière à ne laisser passer que ces pinceaux; dès lors notre figure devient tout autre (fig. 46). Mais nous savons déjà que les lentilles armées d'un diaphragme ont une certaine profondeur de foyer et que par conséquent le verre dépoli peut impunément se mouvoir sans que la netteté de l'image change sensiblement. Or, si la distance Md' ou Nd n'est pas supérieure à la profondeur de foyer, alors la dimension et la place du diaphragme seront déterminés. Il est aisé de voir que plus le diaphragme est petit, plus l'image doit gagner en netteté, puisque

les rayons qui viennent troubler l'image sont arrêtés par le diaphragme.

Le diamètre du diaphragme dépend nécessairement de l'expression de l'aberration sphérique pour les rayons obliques à l'axe de la lentille LL, plus petite sera cette aberration, plus grand pourra être le diaphragme, plus grande elle sera, plus petit devra être le diaphragme, cependant il y a une limite à la petitesse de ce diaphragme à cause de la *diffraction* (voyez page 22), qui aurait pour effet d'apporter dans l'image des objets fortement éclairés, un contour trouble. L'image d'une étoile, au lieu d'être un point unique, serait un point entouré d'anneaux concentriques. Si le diaphragme que l'on place au-devant des lentilles est plus petit que $^1/_{60^e}$ de leur distance focale, l'image tend à devenir moins nette par l'effet de la diffraction.

Ajoutons que photographiquement parlant les diaphragmes trop petits donnent des images plates, sans relief ni effet. Il ne faudrait jamais employer de diaphragmes dont l'ouverture fut inférieure au trentième de la distance focale, et c'est surtout à ce titre que nous préférons l'usage des objectifs aplanétiques. (Voyez page 90.)

Destruction de l'aberration de forme. — A présent que nous connaissons l'usage du diaphragme qui divise la lentille en autant de parties qu'il y a de pinceaux incidents plus ou moins obliques, nous pouvons examiner avec plus d'exactitude la cause de la courbure du champ et comment on rend ce champ plat.

L'expérience a d'abord montré que parmi les lentilles convergentes simples les ménisques convergents armés d'un diaphragme convenablement placé sont celles dont le champ est le moins courbe à la condition cependant de leur faire présenter leur face concave à l'objet à reproduire. Le champ est même complètement plat si la lentille n'embrasse pas un angle considérable (10 ou 15 degrés par exemple). Mais pour les usages de la photographie, cette lentille doit embrasser au moins un angle double. Or, dans ce cas le champ devient fort courbe, et l'image perd complètement sa netteté vers les bords.

Soit, en effet, ML un ménisque convergent armé d'un diaphragme NO, R un pinceau lumineux émanant d'un point situé à l'infini sur l'axe de la lentille et R' un pinceau oblique tombant sur les bords de la lentille. Le plan focal PF sera déterminé par la distance focale de la lentille (où les rayons R ont leur foyer). La distance focale du pinceau oblique R' ne sera pas égale à la précédente, *mais beaucoup plus courte* MF', de sorte que le plan focal FP sera courbe, FP' × P'F' étant la mesure de la courbure du champ. Supposons que nous nous servions d'une lentille négative au lieu d'une lentille positive, et exactement dans le même cas. Il est entendu que nous n'aurions pas d'image réelle, mais seulement une image virtuelle. Dans ce cas la courbure du champ serait renversée puisque les bords de la lentille ont une distance focale *plus grande* que le centre, résultat précisément inverse à celui obtenu par la lentille convergente.

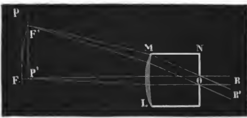


Fig. 49.

Mais les lentilles simples ne sauraient être employées en photographie à cause de l'aberration chromatique dont le résultat serait une différence considérable entre les foyers visuel et chimique, de là nécessité d'employer des lentilles achromatiques, qui, on le sait, sont composées d'une lentille positive alliée à une lentille négative. Or, en associant convenablement ces deux lentilles dont l'aberration de forme est opposée dans les deux, ainsi que nous venons de le voir, on arrive à rendre le champ complétement plat, c'est-à-dire à rendre la distance focale des pinceaux obliques à leur axe égale à celle des pinceaux parallèles à ce même axe.

Il existe donc entre la position du draphragme, les rayons de courbure négatifs et positifs des lentilles qui constituent un

objectif, une relation telle que le champ puisse être rendu plat en même temps que l'achromatisme soit obtenu. La relation entre les rayons de courbure des trois surfaces constituant une lentille achromatique n'est-elle pas exacte, le champ peut être courbe soit à la façon d'une lentille simple convergente, soit à la façon d'une lentille simple divergente. Ainsi la lentille achromatique plan convexe LM (fig. 50) formée d'un plan concave en flint et d'un bi-convexe en crown a pour les pinceaux obliques incidents R' un foyer F' plus près de la lentille que pour les pinceaux centraux R dont le foyer F est plus loin. Donc cette lentille, tout en étant achromatique, possède le champ courbe analogue à celui des lentilles convergentes simples.

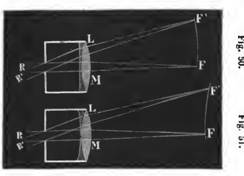


Fig. 50.
Fig. 51.

Une lentille achromatique convergente LM, (fig. 51) dont le flint est bi-concave et le crown bi-convexe, peut avoir des propriétés inverses au cas précédent, et avoir un champ courbe analogue à celui des lentilles simples divergentes, tout en étant convergente. Il faut donc éviter dans la destruction de l'aberration de forme de dépasser une certaine distance focale pour les pinceaux obliques, sinon on retombe dans la même aberration (de signe contraire).

Il en est donc de cette aberration comme des aberrations sphérique et chromatique, où l'on peut dépasser les corrections et rendre ces aberrations négatives dans des combinaisons convergentes et positives, dans des combinaisons divergentes.

L'objectif simple employé en photographie, ainsi que nous le verrons au chapitre suivant, possède un champ assez plat tout en embrassant un certain angle. Cet objectif est nécessairement achromatique comme tous les objectifs employés en photographie. C'est un ménisque convergent dont la face concave regarde l'objet

à reproduire et la face convexe le verre dépoli de la chambre noire sur laquelle il est monté. Si l'on employait cette lentille dans la position où elle offre le moins d'aberration sphérique, c'est-à-dire la face convexe tournée vers l'objet à reproduire, comme les objectifs des lunettes d'approche, alors le champ de l'image serait très-courbe, toutefois la partie du champ avoisinant l'axe serait d'une netteté parfaite, même avec toute l'ouverture de la lentille, ce qui se conçoit, puisqu'elle est à peu près exempte, pour les rayons incidents parallèles à son axe principal, des aberrations sphérique et chromatique. En associant à une pareille lentille une lentille achromatisée négative de rayons de courbure appropriés et située à une certaine distance de la première, **M. Petzval** est parvenu à rendre le champ du système entier très-plat. Son objectif porte le nom d'*objectif orthoscopique*. La fig. 52 explique le principe sur lequel sa construction est basée. A est la lentille convergente aplanétique et achromatique dont la face convexe est tournée vers

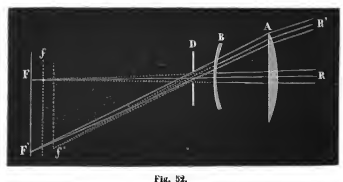


Fig. 52.

l'objet à reproduire, B est la lentille négative également aplanétique et achromatique. La lentille A, employée seule, donnerait une image très-courbe sur le verre dépoli, puisque la distance focale Af' des pinceaux obliques R' serait beaucoup plus courte que celle f des pinceaux axiaux R. La lentille négative B, allonge de beaucoup (de f' en F') la distance focale des premiers, puis-

qu'elle agit sur ces pinceaux par son bord qui est fortement prismatique, tandis qu'elle allonge à peine (*f*F) la distance focale des seconds. Le champ primitif *ff'* est donc rendu plat suivant FF'.

Le triplet de **M. Dallmeyer** est composé de deux lentilles convergentes achromatiques situées à l'extrémité d'un tube. Un pareil système aurait un champ extrêmement courbe, mais une lentille négative placée entre les deux agit pour aplanir le champ à peu près comme dans le cas de l'objectif orthoscopique.

SECTION IV. — *Aberration de l'épaisseur des lentilles ou distortion.*

De la distortion. — Tendez horizontalement et verticalement des fils sur un cadre et examinez-les au travers d'une grande et forte loupe B montée dans un cadre à manche A (fig. 53). Vous observerez, en plaçant l'œil à une distance de 2 ou 3 pieds et à la hauteur du centre de la loupe que les fils qui se croisent dans le sens de deux diamètres perpendiculaires de la loupe sont les seuls qui restent droits, les autres apparaissant courbes. *Remarquez dans la figure que les fils supérieurs sont infléchis en sens inverse des fils inférieurs.* C'est que la partie supérieure de la lentille est un prisme à faces courbes dont l'arête est précisément en sens inverse du prisme à faces courbes qui constitue la partie inférieure. Aussi, en élevant la lentille (tout en tenant l'œil immobile), de manière que le fil supérieur soit vu à travers la partie inférieure de la lentille, tout de suite le fil est-il courbé en sens inverse. C'est ce qui constitue la *distortion.*

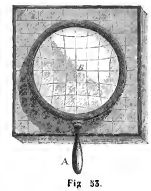


Fig. 53.

Si les deux fils du milieu restent droits, cela provient de ce que l'œil se trouve placé juste à la hauteur du centre, mais si l'œil se déplace, ces fils eux-mêmes se courbent immédiatement.

La distorsion pour les lentilles divergentes est juste inverse à celle des lentilles convergentes, ainsi les fils de la figure 53 au lieu d'être infléchis avec leur convexité vers l'intérieur, le sont avec leur convexité à l'extérieur comme la paroi courbe d'un baril.

Plus les lentilles employées dans cette expérience ont un court foyer, leur diamètre restant le même, et plus l'aberration d'épaisseur est grande, ce qui s'explique de soi-même.

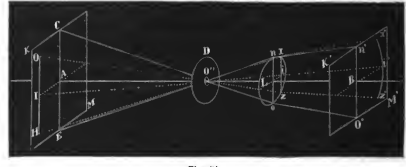


Fig. 54.

La fig. 54 fait comprendre parfaitement l'effet de l'aberration d'épaisseur ou distorsion. Soit L une lentille convergente, audevant de laquelle nous plaçons un diaphragme D percé à son centre d'une ouverture O'' infiniment petite. Soient AB l'axe principal de la lentille L, KM un plan (situé à l'infini) perpendiculaire à cet axe, K'M' le plan focal.

Je dis que toute droite CE passant par l'extremité A de l'axe BA contenue dans le plan KM, sera reproduite droite *n*'O'. En effet, rappelons-nous que les centres de courbure des faces de la lentille se trouvent nécessairement sur son axe principal, que de plus tout rayon réfracté l'est toujours dans le plan du rayon incident. Or, le plan des rayons incidents C o, E *n*, qui divise la lentille en deux parties égales et *est perpendiculaire à son contour*, est aussi le plan des rayons réfractés *nn'* et oO' dont l'intersection avec le plan focal K'M' est la droite *n*'O'. Il en serait ainsi, du reste, de toute autre droite, IA par exemple, choisie dans le plan KM, pourvu qu'elle passe par l'extrémité A de l'axe.

Mais il n'en est plus de même pour toute droite OH menée dans le plan KM et qui ne passe pas par l'extrémité A de l'axe de la lentille. En effet, un plan mené par cette droite et l'ouverture du diaphragme, sera oblique à l'axe AB et ira couper la lentille en *nz*, non plus en deux parties égales, mais en deux parties inégales.

Remarquons que les rayons *x*H et ZO partant des extrémités de la droite OH passent par les bords *x* et Z de la lentille, tandis que les rayons menés de l'ouverture du diaphragme à tous les points intermédiaires situés entre O et H, I*i* par exemple, choisi au milieu, passent plus loin du bord, là où la lentille est plus épaisse. Aussi les rayons réfractés qui, dans le cas précédent, émergeaient de la lentille dans un plan perpendiculaire à son contour, émergent maintenant obliquement à ce contour suivant une surface courbe dont la trace sur le plan focal est *x'i'*Z', ayant sa concavité tournée vers l'axe principal de la lentille. Si cette lentille L était formée d'une infinité d'anneaux concentriques ayant sensiblement la même épaisseur, la réfraction à travers un point quelconque de sa surface serait, pour une même incidence, égale à celle produite par une lentille infiniment mince. Mais formée comme elle l'est à présent de parties inégalement épaisses, la réfraction pour une même incidence est inégale, suivant que le rayon incident tombe plus ou moins loin du bord, de là la ***distortion***.

Il est bien évident que la distance du diaphragme à la lentille fait varier la distortion, puisque plus ce diaphragme est rapproché de la lentille et plus les rayons incidents d'une obliquité donnée à l'axe passent près du centre de la lentille. Si ce diaphragme est en contact avec la lentille, celle-ci réduite à son centre optique est évidemment exempte de distortion.

L'*objectif simple* employé en photographie ne donne pas des images exemptes de distortion, ainsi un dessin pareil à celui représenté fig. 55 est reproduit comme figure 56. En effet (fig. 58), dans les objectifs simples employés en photographie le diaphragme

étant placé en A au devant de la lentille B a pour effet de faire agir chaque segment de la lentille sur une partie différente de l'objet à reproduire CD. De là distortion dans le sens indiqué par la fig. 54.



Fig. 55. Fig. 56. Fig. 57.

En plaçant le diaphragme en arrière, c'est-à-dire entre la lentille et le verre dépoli (fig. 59), la distortion serait inverse (fig. 57) puisque

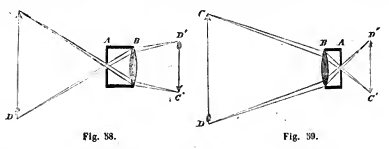


Fig. 58. Fig. 59.

dans la première le rayon partant de D traverse la partie supérieure de la lentille et dans la seconde la partie inférieure.

Destruction de l'aberration d'épaisseur. — En réunissant deux objectifs simples égaux entr'eux LL' (fig. 60) et en plaçant le diaphragme D au milieu il est facile de voir que les rayons partant du point A d'un objet extérieur, passent par deux parties opposées des lentilles. La première lentille donne la distortion en barillet (fig. 56) et la seconde en croissant (fig. 57), mais elles s'annullent en se combinant.

MM. ***Harrison*** et ***Schnitzer*** de New-York (en 1862) et M. ***Steinheil,*** de Munich (en 1865), ont adopté ce système optique dans « l'*objectif-globe* » et « l'*objectif périscope.* » Les deux lentilles (fig. 60) (identiques entr'elles) ont la forme de ménisques dont la concavité se regarde. Le diaphragne est fort petit afin de corriger l'aberration sphérique du système qui est considérable.

Le champ est plat, grâce à la forme toute particulière des lentilles et surtout aux très-petits diaphragmes dont ces objectifs sont munis.

Un savant anglais, M. **Sutton**, dès 1858, conseilla de placer

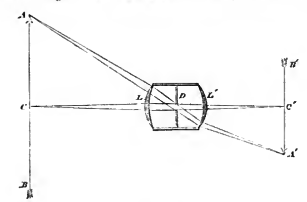


Fig. 60.

entre les deux lentilles (identiques entr'elles) et à égale distance de chacune d'elles, une lentille concave. En effet, en réunissant deux lentilles ordinaires A et B (fig. 61) (telles que les objectifs simples employés en photographie) le champ $f a'$ est très-courbe.

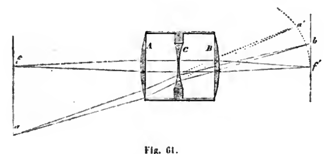


Fig. 61.

Mais en plaçant entre les deux une lentille négative C, les rayons partant d'un point a hors de l'axe au lieu d'avoir leur foyer au point a', l'ont au point b par l'effet de la lentille négative. Cette lentille négative allonge donc la distance focale des rayons obli-

ques. Dans ce cas, le champ est plat et il n'y a plus de distortion si la lentille négative est bi-concave à faces identiques entr'elles. Cet objectif a porté le nom de triplet symétrique. Cependant tel n'est pas le triplet de M. **Dallmeyer** qui a exécuté le premier ce système optique; car M. **Sutton** n'a fait qu'*indiquer* la possibilité de corriger ainsi la distortion.

M. **Dallmeyer** donne aux deux lentilles convergentes des distances focales différentes et place entr'elles la lentille négative, le diaphragme étant dans une position telle que la distortion est annulée ou à peu près. Son système a sur celui de **Harrison** et **Schnitzer** l'avantage d'une absence complète d'aberration sphérique, mais la lentille négative par son épaisseur donne encore une légère distortion parce qu'il est extrêmement difficile de lui donner juste la position assignée par le calcul et qui varie avec la nature du verre employé. Cependant cette distortion n'est appréciable que lorsqu'on se sert de l'objectif pour une dimension d'épreuve plus grande que celle pour laquelle il a été construit.

L'objectif double **de Petzval,** quand les diaphragmes sont placés convenablement entre les deux lentilles, est à peu près exempt de distortion. Mais si les diaphragmes sont placés au-devant de l'objectif, alors la distortion est considérablement plus grande que dans l'objectif simple.

Section V. — *De l'astigmation ou aberration de position des lentilles.*

Procédé expérimental pour démontrer l'astigmation. — L'*astigmation* s'observe avec un petit objectif double (système à portraits) placé sur une grande chambre noire dont le verre dépoli est deux ou trois fois aussi grand que la surface que cet objectif couvre ordinairement. Ainsi, par exemple, un objectif quart sur une chambre noire plaque entière. Collez sur un mur blanc un pain à cacheter noir (ou de tout autre couleur), et examinez-en l'image au centre de votre verre dépoli,

l'axe de l'appareil étant à la hauteur du pain à cacheter. Vous remarquerez que l'image en est ronde, quand même vous déplaceriez votre verre dépoli en arrière ou en avant du foyer, dans lequel cas l'image perd seulement de sa netteté. Mais tournez l'appareil sur son pied de manière que l'image du pain à cacheter vienne aussi près que possible du bord du verre dépoli, vous remarquerez qu'il est maintenant impossible d'en avoir une image nette et que, en déplaçant votre verre dépoli en avant ou en arrière du foyer, l'image s'allonge dans un sens vertical ou horizontal.

Explication théorique de l'astigmation. — La fig. 62 nous permet d'expliquer ce résultat et d'en analyser les conséquences. Soit LOMN une lentille convergente dont l'axe principal est AB. Obliquement à cet axe, choisissons un point rayonnant R situé à l'infini et qui envoie par conséquent des rayons parallèles à la lentille. Par l'axe AB et le point R faisons passer un plan dont la

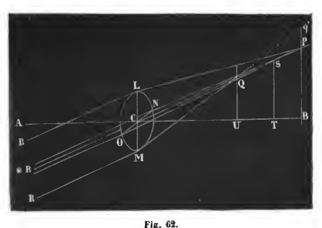


Fig. 62.

trace sur la lentille sera le diamètre LM, et considérons un second plan passant par le point R et perpendiculaire au premier dont la trace sur la lentille sera le diamètre NO. Voyons la marche des rayons émis par le point R dans ces deux plans, en commençant par le premier.

Menons d'abord le rayon RC passant par le centre optique de la

lentille, lequel ne subira pas de déviation par la réfraction à travers les faces courbes de la lentille et qui prolongé constituera donc un axe secondaire RP. Menons aux deux extrémités du diamètre LM de la lentille les rayons incidents RL et RM, qui après la réfraction iront couper l'axe en Q et en P, ainsi que nous l'avons vu au chapitre de l'aberration sphérique. Mais, si la lentille a une faible ouverture, le point de concours sera sensiblement le point Q.

Dans le plan RNO qui contient aussi l'axe secondaire RP, les rayons incidens RN et RO sont symétriques par rapport à l'axe secondaire, aussi après la réfraction vont-ils couper l'axe au même point S.

On voit donc qu'il y a *deux distances focales* de la même lentille pour les rayons obliques à l'axe tombant parallèlement entr'eux à la surface d'une lentille, l'une dans le plan passant par l'axe principal de la lentille et le point rayonnant, la seconde dans le plan passant par le point rayonnant et le centre optique et perpendiculaire au premier. C'est ce qui constitue l'astigmation.

Réduction de l'astigmation au minimum. — On réduit l'astigmation (c'est-à-dire la différence entre le foyer primaire et le foyer secondaire) *au minimum*, d'abord à l'aide du diaphragme qui partage la surface de l'objectif en autant de surfaces séparées dont chacune d'elles agit sur des points rayonnants d'une incidence différente; secondement, en choisissant les surfaces sphériques de manière que les rayons immergents et émergents fassent un très-petit angle avec les normales aux surfaces sphériques des lentilles.

Calcul du foyer primaire et du foyer secondaire. — Nous considérerons le cas le plus simple, celui d'une lentille simple; plano convexe, munie d'un diaphragme à ouverture très-étroite, placée au centre optique de la lentille. Nous supposons le point rayonnant situé à l'infini et le faisceau de rayons parallèles tombant sur la face plane de la lentille.

Soit CD (fig. 1, pl. I) l'axe de la lentille, *Aa* l'axe du faisceau

lumineux après la réfraction à la surface plane de la lentille. Faisons passer un plan par ces deux axes et soit ab un arc de cercle, ayant son centre en C, représentant la coupe de la surface convexe de la lentille par ce plan. Considérons dans celui-ci un second rayon Bb du faisceau, les deux rayons Aa, Bb émergeront suivant aV et bV, le point d'intersection V sera approximativement le ***foyer primaire*** et le sera exactement quand les deux rayons seront infiniment voisins.

Calculons la distance aV en fonction du rayon $Ca = r$ de la lentille et faisons les angles

$$VaD = \theta$$
$$A'aD = \eta$$
$$bCa = \varphi$$
$$bVa = \psi$$

Le triangle Vab donne

$$Va : ba = \sin Vba : \sin \psi$$

$$Va = ba \cdot \frac{\sin Vba}{\sin \psi}.$$

Calculons chacun des facteurs qui entrent dans cette expression. En abaissant Cp perpendiculaire sur la corde ab, le triangle rectangle Cpb donne

$$ba = 2pb = 2cb \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = 2r \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Appelons k le point d'intersection du rayon Vb prolongé avec l'axe aC, l'angle Vba considéré comme extérieur au triangle kba est égal à la somme des angles intérieurs opposés,

$$Vba = Vka + bac.$$

Mais, le triangle Vka donne de même

$$Vka = VaD - kVa = \theta - \psi,$$

et le triangle rectangle *cpa* donne

$$bac = 90° - \frac{\varphi}{2}.$$

En faisant la somme on trouve

$$Vba = \theta - \psi + 90° - \frac{\varphi}{2},$$

d'où

$$\sin Vba = \sin\left[90° - \left(\psi + \frac{\varphi}{2} - \theta\right)\right] = \cos\left(\psi + \frac{\varphi}{2} - \theta\right).$$

En substituant dans la valeur de Va, celle-ci devient :

$$Va = 2r \cdot \frac{\sin\frac{\varphi}{2} \cdot \cos\left(\psi + \frac{\varphi}{2} - \theta\right)}{\sin\psi}.$$

Observons maintenant que les angles ψ et φ sont infiniment petits, puisque les rayons Aa et Bb sont infiniment voisins, on a donc

$$\frac{\sin\frac{\varphi}{2}}{\sin\psi} = \frac{\frac{\varphi}{2}}{\psi} = \frac{\varphi}{2\psi}.$$

D'autre part, en développant le cas de la différence des arcs $\psi + \frac{\varphi}{2}$ et θ, au moyen de la formule connue

$$\cos(a - b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b,$$

il vient

$$\cos\left(\psi + \frac{\varphi}{2} - \theta\right) = \cos\theta \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \psi\right) + \sin\theta \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \psi\right)$$

où, en observant que l'arc $\frac{\varphi}{2} + \psi$ étant infiniment petit, on peut

le substituer à son sinus et faire son cosinus égal 1,

$$\cos\left(\psi + \frac{\varphi}{2} - \theta\right) = \cos\theta + \left(\frac{\varphi}{2} + \psi\right)\sin\theta.$$

Il vient donc :

$$Va = r\frac{\varphi}{\psi}\left(\cos\theta + \left(\frac{\varphi}{2} + \psi\right)\sin\theta\right).$$

A cause de la petitesse des angles φ et ψ, le 2[e] terme de la parenthèse peut être négligé devant $\cos\theta$ et il reste simplement

$$Va = r\,\frac{\varphi\cos\theta}{\psi}.$$

Il ne reste donc plus qu'à calculer le rapport $\frac{\varphi}{\psi}$.

Prolongeons B*b* et A*a* respectivement en *b*B' et *a*A'. Si l'on observe qu'au point *b* le rayon lumineux passe d'un milieu dans un autre moins dense; que l'angle d'incidence est C*b*B = E*b*B', et l'angle de réfraction V*b*E, l'on aura en appelant *n* l'indice de réfraction

$$\sin VBE = n \sin EbB'.$$

Mais $\quad VbE = CbK = VKa - \varphi = \theta - \psi - \varphi$

et $\quad EbB' = CbL = B'LD - \varphi = A'aD - \varphi = \eta - \varphi.$

Donc $\quad \sin[\theta - (\varphi + \psi)] = n \sin(\eta - \varphi),$

mais à cause de la formule connue

$$\sin(a - b) = \sin a \cos b - \sin b \cos a,$$

l'on a

$$\sin[\theta - (\varphi + \psi)] = \sin\theta\cdot\cos(\varphi + \psi) - \cos\theta\cdot\sin(\varphi + \psi)$$
$$\sin(\eta - \varphi) = \sin\eta\cos\varphi - \sin\varphi\cos\eta$$

Les angles φ et ψ étant infiniment petits, ces formules reviennent à

$$\sin[\theta - (\varphi - \psi)] = \sin\theta - (\varphi + \psi)\cos\theta$$
$$\sin(\eta - \varphi') = \sin\eta - \varphi\cos\eta.$$

et par substitution de ces dernières valeurs on trouve

$$\sin\theta - (\varphi + \psi)\cos\theta = n(\sin\eta - \varphi\cos\eta).$$

D'autre part, la réfraction en a donne de même :

$$\sin\theta = n\sin\eta; \quad .....(1)$$

ce qui réduit la relation précédente à

$$(\varphi + \psi)\cos\theta = n\varphi\cos\eta.$$

On tire de là

$$\frac{\varphi}{\psi} = \frac{\cos\theta}{n\cos\eta - \cos\theta}$$

et la substitution dans Va donne

$$Va = r\frac{\cos^2\theta}{n\cos\eta - \cos\theta}. \quad ....(2)$$

Cette valeur peut se mettre encore sous une autre forme en remplaçant n par $\frac{\sin\theta}{\sin\eta}$, il vient alors

$$Va = r\cdot\frac{\cos^2\theta\cdot\sin\eta}{\sin\theta\cdot\cos\eta - \sin\eta\cos\eta},$$

ou encore

$$Va = r\cdot\frac{\cos^2\theta\cdot\sin\eta}{\sin(\theta - \eta)}. \quad ....(3)$$

Si l'on fait varier la direction de l'axe du pinceau incident Aa, c'est-à-dire l'angle η. La formule (1) donnera l'angle θ qui fixe la direction du faisceau émergent, aV; la position du *foyer primaire* V sur cet axe sera ensuite connue par la formule (2). Si l'on fait $\eta = o$ le faisceau lumineux devient parallèle à l'axe de la lentille et le foyer primaire coïncide avec le foyer principal F, la formule (2) donne alors (en remarquant que $\eta = \theta = o$, d'où $\cos\eta = \cos\theta = 1$),

$$F = \frac{r}{n - 1}.$$

De là le rapport

$$\frac{Va}{F} = \frac{\cos^2\theta\,(n-1)}{n\cos\eta - \cos\theta}.$$

Cette relation entre Va et θ est l'équation polaire de la courbe VF de tous les foyers primaires et fait connaître la courbure du champ de la lentille en tant que l'on ne considère que ces foyers.

Mais cette courbe diffère de celle des *foyers secondaires* HF qu'il nous reste encore à déterminer.

Considérons en a une section passant par l'axe de la lentille et perpendiculaire à ab; supposons que cette section soit l'arc de cercle am; soit un rayon lumineux Mm infiniment voisin de l'axe Aa du faisceau, il ira couper le rayon réfracté en aV en un point H différent de V, et c'est ce point H que nous avons appelé le ***foyer secondaire***.

Prenons $M'm'$ et Mm équidistants de Aa, les rayons réfractés sont m'H, mH, le plan MmH renferme le rayon de courbure Cm, normale au point m et le plan $M'm'$H contient aussi le rayon Cm', ces deux plans passant par C, leur intersection passe donc par le même point et ne sera autre que la droite CH. Mais ces plans contenant chacun une parallèle aux rayons incidents, leur intersection CH est une même parallèle à ces rayons, donc CH est parallèle à Aa, et l'angle $HCa = \eta$ (fig. 2, Pl. I).

Le triangle HaC donne

$$\frac{aH}{CH} = \frac{\sin HCa}{\sin CaH} = \frac{\sin\eta}{\sin\theta} = \frac{1}{n}.$$

La courbe HF des foyers secondaires est donc telle, que le rapport des distances Ha, HC de l'un quelconque de ses points à deux points fixes a et C est une constante $\frac{1}{n}$ et il est aisé de démontrer qu'une pareille courbe est un cercle.

Soient C et a les deux points fixes, H un point quelconque

de la courbe. Prenons les points B et D de telle façon que l'on ait

$$\frac{aB}{BC}=\frac{1}{n} \quad \text{et} \quad \frac{aD}{CD}=\frac{1}{n}.$$

D'après la définition de la courbe, celle-ci passera par les deux points B et D.

Joignons BH et DH. On trouve les proportions

$$\frac{aH}{CH}=\frac{aB}{CB} \quad \text{et} \quad \frac{aH}{CH}=\frac{aD}{CD}.$$

La première nous apprend que BH est la bissectrice de l'angle CHa et la deuxième que HD est la bissectrice de l'angle supplémentaire aHK. Ces deux droites HB et HD sont donc perpendiculaires l'une sur l'autre et la courbe jouit de cette propriété que tous les angles inscrits tels que BHD sont droits, c'est donc une circonférence de cercle.

Remarquons maintenant que dans les proportions

$$CB : Ba = n : 1$$

l'on tire

$$CB + Ba : Ba = n + 1 : 1 \quad \text{ou} \quad Ba = \frac{Ca}{n+1} = \frac{r}{n+1}.$$

De même la proportion

$$CD : aD = n : 1$$

donne

$$CD - aD ; aD = n - 1 : 1 \quad \text{ou} \quad aD = \frac{CD - aD}{n-1} = \frac{r}{n-1};$$

en faisant la somme il vient

$$Ba + aD = BD = \frac{r}{n+1} + \frac{r}{n-1} = \frac{2rn}{n^2-1}.$$

Or, BD est le diamètre du cercle BHD, donc en désignant par R le rayon de ce cercle, on a

$$R = \frac{nr}{n^2-1}.$$

Quand le rayon aH tombe sur l'axe aD, le foyer secondaire H vient en D qui n'est par conséquent autre que le foyer principal F et en effet on a trouvé plus haut :

$$aD = \frac{r}{n-1} = F.$$

Pour trouver maintenant la valeur de aH observons que le triangle CHa donne

$$aH : Ca = \sin \eta : \sin(\theta - \eta),$$

d'où

$$aH = \frac{r \sin \eta}{\sin(\theta - \eta)}.$$

En comparant cette dernière formule à la formule (3) on aura finalement pour les rapports des distances focales primaires et secondaires qui correspondent à un angle donné θ

$$\frac{Va}{aH} = \cos^2 \theta.$$

Pour avoir la distance de ces foyers on tire de la proportion ci-dessus

$$\frac{aH - aV}{aH} = \frac{1 - \cos^2 \theta}{1} = \sin^2 \theta$$

$$VH = \sin^2 \theta \times aH = \frac{r \sin \eta \cdot \sin^2 \theta}{\sin(\theta - \eta)}.$$

Cette formule montre que l'astigmation est d'autant plus considérable que le faisceau de rayons incidents s'incline plus sur l'axe.

CHAPITRE VI.

DESCRIPTION DES OBJECTIFS PHOTOGRAPHIQUES (1).

Division des objectifs en non-aplanétiques et aplanétiques. — Nous avons vu, page 90, que l'aberration sphérique pouvait servir à diviser les objectifs photographiques en deux grandes classes. Les premiers, ***non-aplanétiques,*** qui ne donnent des images nettes qu'à la condition d'être munis d'un très-petit diaphragme; les seconds, ***aplanétiques,*** qui donnent avec toute leur ouverture des épreuves nettes mais sur un plan focal d'une moins grande étendue que les précédents. Nous adopterons donc cette division dans ce chapitre.

Voici les différences qui caractérisent ces deux espèces d'objectifs.

Les objectifs *aplanétiques* conviennent surtout pour la reproduction des scènes animées parce que, pouvant servir avec toute leur ouverture, ils permettent une courte exposition à la lumière. Ils ne couvrent nettement qu'un plan focal dont le plus grand côté est tout au plus de la moitié de leur distance focale, mais les arme-t-on d'un diaphragme cette étendue de netteté augmente.

Armés d'un diaphragme extrêmement faible ($f/30$) ils couvrent une surface presqu'aussi grande que les objectifs *non-aplanétiques* et conviennent alors pour la reproduction des monuments, paysages, etc.

---

(1) *Avis essentiel.* Pour éviter des répétitions nous désignerons toujours par f la distance focale de l'objectif, l'ouverture du diaphragme par le chiffre fractionnaire $f/30$, $f/40$, $f/60$, etc., qui désignent des ouvertures du trentième, quarantième, soixantième de la distance focale.

Les données numériques exprimées le seront toujours en fonction de la distance focale de l'objectif employé, ce qui est la seule manière de comparer entr'eux des objectifs différents.

Les objectifs *non-aplanétiques* employés avec toute leur ouverture donnent des images confuses sur toute l'étendue du plan focal. Armés d'un diaphragme égal $f/10$, l'image commence à prendre de la netteté, mais d'un caractère encore peu tranché. Ce n'est que lorsque le diaphragme n'a que $f/30$, $f/40$ et même $f/60$ que l'image prend une netteté absolue. Ces objectifs sont donc *très-lents* pour impressionner les surfaces photographiques, mais leur plan focal est beaucoup plus grand que celui des objectifs non-aplanétiques. Ils sont pour la plupart (excepté l'objectif simple) exempts de distortion et d'astigmation, tandis que, parmi les objectifs aplanétiques, le triplet seul est exempt de distortion.

Comme en somme le seul avantage des objectifs *non-aplanétiques* consiste dans le grand angle qu'ils embrassent, que le *triplet*, sans embrasser un angle aussi grand, en embrasse cependant un suffisant dans la pratique, et que de plus il peut donner des images nettes avec des diaphragmes beaucoup plus grands et même avec son ouverture entière alors que l'objectif non-aplanétique ne donne plus d'images du tout, l'avantage reste au triplet, qui, dans l'état actuel de la science optique, est l'objectif le meilleur qui existe. Dans la préface de ce volume, le lecteur trouvera du reste, notre opinion plus motivée à cet égard.

Section I. — *Les objectifs non-aplanétiques.*

L'objectif simple (à paysages). — ***Jean-Baptiste Porta***, l'inventeur de la chambre noire à lentille, se servait comme objectif d'une lentille plano-convexe en crown dont la face convexe regardait le verre dépoli et qui était réduite à sa partie centrale par un diaphragme en contact avec elle dont le diamètre était $f/20$ à $f/30$. Dans ces conditions, le champ de l'image était très-courbe, ainsi que nous en avons donné l'explication page 100. Il en résultait que, pour obtenir un plan focal bien net dans toutes

ses parties, le plus grand côté de l'image ne devait pas avoir plus de $f/5$. Un tel système était du reste sensiblement exempt de distortion.

Si l'on éloigne le diapragme de la lentille, le champ devient plus plat, mais la distortion augmente, puisque maintenant la lentille se trouve dans les conditions représentées dans la figure 54 et expliquées page 112.

Les opticiens reconnurent bientôt qu'un ménisque concave-convexe substitué à l'objectif plano-convexe de Porta, donnait à égalité de distance focale une image nette d'une plus grande étendue. La surface concave regardait l'objet à reproduire et la surface convexe le verre dépoli. Le plan focal était nettement couvert sur une surface carrée dont la diagonale était égale à $f/4$. L'ouverture du diaphragme était de $f/30$, sa distance de la lentille de $f/5$.

Tel était donc l'objectif simple lors de la découverte du daguerréotype en 1839, et il servit à produire les premières épreuves daguerriennes. Mais on reconnut bientôt que l'image, nette sur le verre dépoli, ne l'était par sur la surface photographique, qu'en un mot, la lentille possédait un foyer chimique en rapport avec l'angle de dispersion du verre dont elle était formée. Car le foyer visuel, correspondant aux rayons jaunes, différait considérablement de celui des rayons bleus et violets qui était plus rapproché et qui constitue le foyer chimique. Il fallait donc graduer la base de la chambre noire suivant le foyer conjugué de la lentille et cela était long et difficile, aussi s'adressa-t-on de toutes parts aux opticiens pour obtenir des objectifs exempts de ce foyer chimique.

Les premiers objectifs de cette nature paraissent avoir été construits par feu **Charles Chevalier**. Cet opticien se servit de l'objectif achromatisé de la lorgnette de spectacle, objectif formé par une lentille bi-convexe de crown collée à une lentille plano-convexe de flint. Employée avec sa face convexe tournée vers l'objet à reproduire, l'image était d'une remarquable netteté et très-brillante, puisque dans cette position la lentille pouvait

être employée avec toute son ouverture, les aberrations sphérique et chromatique y étant corrigées suivant l'axe. Mais l'étendue du plan focal était très-faible et tout au plus son plus grand côté était-il de $f/8$. **Charles Chevalier** fit comme les opticiens ses devanciers, il retourna la lentille, de sorte que sa face convexe regardait maintenant le verre dépoli. Dans cette position l'image était beaucoup moins nette que dans le cas précédent, mais il l'arma d'un diaphragme placé en avant de l'objectif, de sorte que la netteté s'accrut ainsi considérablement, en même temps que le champ de l'image s'aplatit beaucoup, de sorte que le plus grand côté du plan focal nettement couvert était maintenant de $f/3$.

La fig. 3, Pl. I, représente l'objectif simple primitif. La lentille achromatique plano-convexe A était placée dans une monture conique en cuivre C, armée d'un diaphragme B, au-dessus duquel glissait une plaque circulaire qui servait d'obturateur.

L'ouverture du plus petit diaphragme était généralement de $f/30$. Il y en avait du reste plusieurs dont le plus grand était d'une ouverture quatre fois aussi grande que le premier ($f/15$), et que l'on pouvait substituer au premier, suivant l'intensité qu'on désirait que l'image eût.

L'objectif était placé sur une chambre noire FNOF' dont le verre dépoli FF' était beaucoup plus petit que le champ GG', conséquence inévitable de la trop courte distance qui séparait la lentille A du diaphragme B. L'objectif n'agissait donc que par sa partie centrale, on perdait ainsi *la moitié* de son diamètre, comme le montre du reste très-bien la figure. L'aberration sphérique pour les rayons obliques à l'axe et la distortion étaient ainsi réduites à une moindre quantité que si le diaphragme eut été situé plus loin en avant, et le champ était presqu'aussi plat parce que la forme plano-convexe n'était pas la meilleure que l'on pût choisir, mais à cette époque l'on n'était pas aussi expérimenté qu'on l'est aujourd'hui.

La forme plan-convexe est donc la première qui a été donnée à l'objectif simple. Quelques opticiens reconnurent plus tard que la

forme ménisque était préférable à la forme plano-convexe, le rayon de courbure de la face concave qui regardait l'objet à reproduire était généralement *et est encore* de $f/3$ à $f/2$, le diamètre de l'objectif de $f/6$ (1).

La forme de l'objectif simple qui est donc généralement adoptée est représentée, fig. 4, pl. I, la face *concave* de *flint* regardant l'objet à reproduire, la face *convexe* de *crown* le verre dépoli. Quant à son diamètre et à la position du diaphragme, ces éléments dépendent entièrement de la concavité plus ou moins grande de la face du flint. Si l'on donne à la lentille A (fig. 5, pl. I) un

(1) Cette face de la lentille étant ainsi choisie l'on détermine par le calcul le rayon de courbure des deux surfaces en contact, puis celle qui regarde le verre dépoli.

Soit F la distance focale des deux lentilles collées ensemble; n_j l'indice de réfraction du crown (bi-convexe); n'_j l'indice de réfraction du flint (bi-concave); Δ le rapport des pouvoirs dispersifs; R le rayon de courbure arbitrairement choisi de la face concave du flint qui regarde l'objet à reproduire; on trouvera les autres données du système, à savoir :

R' rayon de courbure des deux surfaces du crown et du flint en contact; R'' rayon de courbure de la face du crown qui regarde le verre dépoli; f la distance focale (négative) de la lentille de flint; f' la distance focale (positive) de la lentille crown, par les équations suivantes :

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{f'}=\frac{1}{F} \quad ....[1]$$

$$\frac{f}{f'}=-\Delta \quad ....[2]$$

$$\frac{1}{f'}=(n_j-1)\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{R'}\right) \quad ....[3]$$

$$\frac{f}{f'}=(n'_j-1)\left(\frac{1}{R'}-\frac{1}{R''}\right) \quad ....[4]$$

Si, à l'essai photographique, cette lentille possède un foyer chimique, c'est que Δ n'a pas été bien exactement calculé. Alors si ce foyer tombe *en avant* du foyer visuel, substituez à la face de flint dont R est le rayon de courbure, une autre face dont le rayon de courbure est *plus court* et le contraire si le foyer chimique tombe en arrière du foyer visuel. Nous verrons au chapitre suivant comment on trouve que le foyer chimique tombe en avant ou en arrière du foyer visuel.

grand diamètre relativement à sa distance focale *ab*, le diaphragme D doit se placer à une plus grande distance de la lentille, et telle que le cercle MNO qui termine le plan focal circonscrive presque le rectangle *cdef* qui représente la grandeur de l'image pour laquelle l'objectif est construit. Dans ce cas, si les rayons de courbure de l'objectif sont convenablement choisis le champ est aussi plat qu'il peut l'être, mais la distortion est considérable.

Rapproche-t-on le diaphragme D de la lentille, celle-ci est, par ce fait, pour la même grandeur *cdef* d'image, réduite à une partie centrale de sa surface primitive (comme le montre la fig. 5 de la pl. I), le champ devient moins plat, mais la distortion diminue. Dans ce cas il faut, pour se trouver dans les meilleures conditions possibles de netteté, substituer à la face existante du flint (celle regardant l'objet à reproduire) une face plus concave. Plus donc le diamètre de l'objectif simple est grand, la distance focale restant la même, plus la face du flint en regard de l'objet doit se rapprocher du plan, et dans ce cas plus la distortion est considérable, mais le champ plat. Moindre est ce diamètre, plus cette face devient concave et moins la distortion est grande. Bien entendu entre des limites que la pratique a déterminées avec une approximation suffisante pour guider l'opticien.

En tous cas, l'aberration sphérique est corrigée par l'emploi d'un très-petit diaphragme ($f/30$) et l'aberration chromatique l'est complètement par le choix convenable du flint et du crown, mais il importe grandement de rendre cette aberration sphérique aussi faible que possible et voici pourquoi.

L'on exige dans une épreuve photographique une perfection très-grande de détails qui constitue la netteté. Or, nous avons vu, au chapitre de l'aberration sphérique, que cette aberration avait pour effet de détruire cette finesse dans toute l'étendue de l'image, qu'il fallait, pour éviter ce défaut, la corriger autant que possible, ce que l'on faisait dans l'objectif simple à l'aide du diaphragme. Mais plus

cette aberration est considérable et plus petit doit être le diaphragme pour donner à l'image la finesse qu'on y exige, et plus longue doit donc être l'exposition à la lumière, puisque l'intensité de l'image dépend nécessairement de l'ouverture du diaphragme. Il est donc d'une très-grande importance que l'aberration sphérique soit réduite dans l'objectif simple au moindre degré possible, parce qu'alors on pourra se servir d'un diaphragme plus grand.

Quant à l'aberration chromatique, si l'opticien la corrige pour les pinceaux parallèles à l'axe de l'objectif, il ne saurait la corriger pour les rayons obliques à cet axe, et nous avons vu que, pour réduire cette aberration au minimum, les angles d'immergence et d'émergence des pinceaux devaient former avec la section de la lentille traversée par ces pinceaux, des angles égaux, ce qu'on n'atteignait qu'avec des ménisques dont la face concave était relativement d'un court rayon de courbure.

Pour atteindre ce but, quelques opticiens d'un haut mérite ont adopté une nouvelle forme d'objectif simple (fig. 4bis, Pl. I), dans laquelle la lentille *crown* B de forme ménisque regarde l'objet à reproduire par sa face concave. La lentille divergente de flint A est collée à la lentille de crown et a le même diamètre. Sa forme est aussi un ménisque. L'arrangement est donc inverse de celui de l'ancien objectif représenté fig. 4, Pl. I, dans lequel le flint B regarde l'objet à reproduire tandis qu'ici c'est le crown. La lentille de flint a maintenant pour premier but d'achromatiser le système composé pour les pinceaux parallèles à l'axe, pour second d'allonger la distance focale des pinceaux incidents obliques à l'axe et émergents de la lentille crown, de manière à constituer un plan focal bien plat et d'une étendue beaucoup plus grande qu'avec l'ancien objectif. La lentille de flint, si la face concave de la lentille crown est bien choisie, rend aussi la valeur de l'aberration sphérique beaucoup moins grande qu'avec l'ancien objectif simple, ce qui permet l'usage de diaphragmes plus grands. L'objectif est ainsi plus rapide (photographiquement parlant) et de

plus l'image est plus brillante, possède plus de relief ainsi que nous l'avons dit page 107.

Enfin, cet objectif ayant pour la même étendue de l'image une distance focale plus courte que l'ancien objectif, possède donc sur le dernier tous les avantages possibles.

Il existe donc deux modèles d'objectifs simples : le premier, dans lequel le flint regarde l'objet à reproduire, le second dans lequel le crown regarde cet objet. Tous deux ont la forme ménisque, dans tous deux la face concave regarde l'objet à reproduire et la face convexe le verre dépoli, mais le dernier a sur le premier les avantages d'une distortion moins grande, d'une distance focale plus courte, d'une rapidité plus grande, d'un volume moindre.

L'ancienne forme, la moins bonne donc, est encore généralement adoptée par les opticiens français et allemands, dont plusieurs cependant commencent à adopter la seconde. La nouvelle forme est adoptée par les opticiens anglais et américains.

La fig. 65 représente la monture de l'objectif simple adoptée en France. L'anneau A se fixe à l'aide de vis sur la chambre noire, le tube B contient dans le plan de l'anneau A l'objectif. En C ce tube est terminé par un disque circulaire percé à sa partie centrale sur laquelle s'adapte le petit tube E qui contient les diaphragmes en cuivre, qu'un cylindre F de cuivre noirci maintient en place. D est l'obturateur.

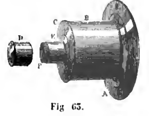


Fig 65.

Pour changer l'ouverture du diaphragme, il faut enlever l'anneau F, ce qui est incommode.

Les Anglais et les Américains ont adopté comme monture la forme dessinée fig. 64. AA' est l'anneau qui se fixe sur la chambre noire, BC, DE le tube cylindrique dans lequel l'objectif LM est monté. FG est une rondelle de cuivre percée d'ouvertures circulaires dont les centres se trouvent à égale distance de son centre de rotation. Il suffit donc, pour substituer un diaphragme

à un autre, de tourner la rondelle en glissant le doigt sur sa partie extérieure F. Nous décrivons du reste plus longuement ce système de diaphragmes page 139.

Voici les dimensions des objectifs simples adoptées par les opticiens français et anglais :

Généralement le *diamètre* de l'objectif ***anglais***[1] est du *cinquième* de sa distance focale et le plus grand côté de l'image a une longueur égale *aux deux tiers* de cette même distance focale.

Le *diamètre* de l'objectif ***français*** est généralement le *septième* de sa distance focale, et le plus grand côté de l'image nettement couverte est de la *moitié* de cette même distance focale.

L'objectif français a moins de distortion que l'objectif anglais, en prenant pour terme de comparaison la dimension de l'image, mais il en a davantage en prenant pour terme de comparaison la distance focale de l'objectif.

Nouvel objectif simple de M. Dallmeyer. — Dans le but de réduire la distortion à une quantité aussi faible que possible et de faire embrasser à l'objectif un angle aussi grand que possible, M. ***Dallmeyer*** a cherché à donner à l'objectif simple une forme ménisque plus prononcée et a rapproché considérablement le diaphragme de la lentille. S'il avait adopté le modèle d'objectif existant avant lui, il aurait pu atteindre son but en sacrifiant la netteté des bords de l'image, mais en prenant pour condition essentielle de maintenir l'image aussi nette au centre que sur les bords, il a dû adopter une autre combinaison optique que représente la fig. 64.

Au lieu de deux lentilles, la première de crown, la seconde de flint, M. Dallmeyer en emploie une de plus, en crown, mais dont l'indice de réfraction est légèrement différent du premier crown. Les trois lentilles sont donc des ménisques collés ensemble et

(1) Il est entendu que nous parlons ici des objectifs sortant d'ateliers de premier ordre, tels que ceux de MM. Ross et Dallmeyer.

forment une lentille unique dont la concavité regarde l'objet à reproduire précisément comme dans l'objectif simple ordinaire.

Le diaphragme est placé en avant de la lentille à une distance égale au diamètre de cette lentille dont il est donc beaucoup plus près qu'à l'ordinaire. L'ouverture la plus petite du diaphragme est $f/30$.

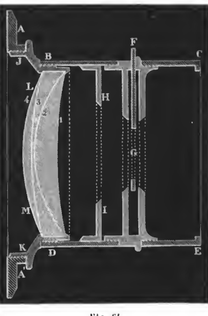


Fig. 64.

Voici les principaux avantages de l'objectif simple de M. Dallmeyer.

Avec un diaphragme de $f/20$, il couvre avec une *parfaite netteté* un plan focal circulaire de 72 degrés d'étendue. Avec un diaphragme de $1/30^e$ un cercle de 85 à 90 degrés. Le champ de l'objectif est donc énorme, puisque le plus

Cette figure représente *avec une très-grande exactitude* l'objectif et sa monture en grandeur naturelle, la distance focale de l'objectif étant de 6,95 pouces anglais, son diamètre de 1,6. Voici les autres données du système exprimées en fonction de la distance focale :

Diamètre des lentilles :		2302
Première lentille (de crown$_1$)	$-r^1$	6043
	$+r^2$	1727
Seconde lentille (de flint)	$-r^3$	1727
	$+r^4$	4813
Troisième lentille (de crown$_2$)	$-r^5$	4813
	$+r^6$	2561
Distance focale de l'ensemble :		10,000

Indice de réfraction (jaune)	du flint	1.581
»	du crown$_1$	1 521
»	du crown$_2$	1 514

Rapport des distances focales pour produire l'achromatisme :

Crown$_1$ et flint $f/f' = 0,706$
Crown$_2$ et flint $f/f' = 0,645$

Nous saisissons ici l'occasion de remercier publiquement M. Dallmeyer de nous avoir communiqué les dessins et données numériques relatives à son objectif simple, à l'objectif de Petzval, et à son triplet, ce qui nous a évité le travail long et difficile de les mesurer expérimentalement.

grand côté de l'image (qui est toujours, ainsi qu'on le sait, rectangulaire) est plus grand que la distance focale de l'objectif, tandis que dans les meilleurs objectifs simples construits avant M. Dallmeyer, ce côté était tout au plus des deux tiers de cette même distance focale.

Ceci a, pour la reproduction des paysages, un avantage considérable au point de vue artistique, c'est que les premiers plans se trouvent représentés sur l'image et donnent ainsi aux plans plus éloignés un effet de perspective étonnant. Cela n'avait pas lieu avec les anciens objectifs dont le champ était beaucoup plus faible.

La distortion est, pour une image dont le plus grand côté est égal à la distance focale de l'objectif, réduite à une faible quantité, le diamètre de l'objectif étant relativement plus faible que celui de l'ancien objectif. D'ailleurs, l'objectif simple étant destiné uniquement aux paysages, la distortion n'apporte aucun défaut visible dans l'image.

Le foyer chimique pour les rayons obliques à l'axe est réduit à une quantité moindre (voyez page 98), le champ est plus plat que celui de l'ancien objectif simple et enfin l'image est plus brillante(1).

Le nouvel objectif simple de M. Dallmeyer a enfin pour dernier avantage d'être plus faible sous le rapport du poids et du volume et d'exiger, par suite de sa courte distance focale, une chambre noire beaucoup plus courte, ce qui est dans la pratique d'un très-grand avantage.

---

(1) Nous avons vu, qu'une lame réfringente *réfléchit* une partie de la lumière incidente qui la frappe. Or, il arrive fréquemment dans les systèmes optiques, que les surfaces des lentilles qui les constituent, agissant comme réflecteurs, jettent sur l'image fournie par transmission une lumière diffuse qui tend à voiler l'image et qui souvent se traduit par une tache lumineuse très-visible au centre du verre dépoli, surtout si le ciel du paysage occupe dans l'image une grande étendue. Dans l'objectif de M. Dallmeyer les rayons transmis et réfléchis sont presque des normales aux surfaces, de sorte que l'image est exempte de ce voile et partant, plus brillante.

Pour terminer cet article nous avons à examiner dans quelles circonstances l'objectif simple est à préférer aux autres systèmes.

Comme tous les objectifs non aplanétiques l'objectif simple devant être muni d'un très-petit diaphragme (de $f/30$) pour donner des images nettes, ne saurait convenir à la reproduction des groupes, paysages animés, portraits, à moins de disposer d'une lumière éclatante comme celle du soleil, ce qui, généralement, produit des effets peu artistiques. Le *triplet* lui est, sous ce rapport infiniment préférable, puisque, avec un diaphragme d'un diamètre double, (par conséquent quatre fois plus rapide), il donne des images parfaitement nettes dont le plus grand côté est $f/2$. L'objectif simple n'étant pas exempt de distortion, puisqu'il distort les images dans le sens de la fig. 56, page 114, ne saurait servir à la reproduction des monuments, cartes, et en général de tous objets où se trouvent des droites. Sous ce rapport encore le *triplet* lui est préférable.

En revanche, il est supérieur au triplet pour la reproduction des paysages, parce que, à égalité de diaphragme, il est un peu plus rapide, premièrement parce qu'il offre moins de surfaces optiques, secondement parce que les pinceaux incidents et réfractés se confondent presque avec les normales aux surfaces réfringentes (à cause de sa forme ménisque). Mais sous ce rapport il est inférieur à l'objectif-globe.

Il possède plus de profondeur de foyer (voyez page 100) que le triplet et qu'en général tous les objectifs connus, hormis l'orthoscopique.

En revanche, il couvre un angle moins grand que l'*objectif-globe*, le *périscope* et l'*orthoscopique*.

On le voit donc, l'objectif simple présente par rapport aux autres objectifs plus de désavantages que d'avantages. Ainsi le triplet lui est préférable au point de vue de l'absence de distortion et de la faculté de reproduire des paysages animés et l'*objectif-globe* (le *périscope* et l'*orthoscopique*) lui sont préférables au point de vue de l'étendue du champ. Mais comme en général les

paysages exigent une très-longue exposition à la lumière et que l'étendue du champ ne doit pas être grande pour ce genre de photographie, le triplet, en somme, est pour la reproduction des paysages, surtout animés, *pratiquement* (sinon scientifiquement) préférable à l'objectif simple, même au nouvel objectif de M. Dallmeyer dont nous venons de parler tout à l'heure qui n'a sur le triplet qu'un seul avantage, c'est d'embrasser un angle plus grand.

L'objectif-globe ou globe-lens. — Cet objectif inventé par MM. ***Harrison*** et ***Schnitzer***, de New-York, et représenté fig. 65, est formé de deux ménisques convergents achromatisés et identiques dont la distance est telle que la surface exté-

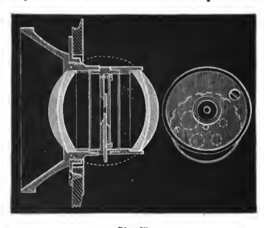


Fig. 65.

Rayon de courbure de la 1e surface crown (extérieure				1412
»	2e	»		2403
»	3e	»	(flint)	2403
»	4e	»	»	1620
Diamètre des lentilles				1375
Épaisseur du ménisque (à sa partie centrale)				231,5
Distance, mesurée sur l'axe, des surfaces extérieures				28 4
Distance focale absolue				10.000
Ouverture du plus grand diaphragme			$f/36$	$=277,7$
»	petit	»	$f/72$	$=138,8$
Densité du crown 2.543 ($n'_n = 1.53$)				
» flint 3.202 ($n_n = 1.60$)				

Les deux lentilles flint et crown sont collées ensemble. Les deux ménisques achromatisés sont égaux entr'eux. Les diaphragmes sont situés à égale distance des deux ménisques.

Ces données nous ont été communiquées par MM. *Gose et Charconnet*, de Paris, opticiens qui ont introduit l'objectif-globe en France sous le nom de *lentiforme de l'œil*, qu'ils construisent avec une grande perfection et à un prix beaucoup moins élevé que les objectifs américains originaux.

rieure des ménisques prolongée se confonde en une seule et même sphère, de là le nom de *globe-lens* ou *objectif-globe*.

La figure montre comment l'objectif-globe est monté. Les deux ménisques enfermés dans un anneau sont fixés aux extrémités d'un tube de cuivre, terminé du côté de l'objet à reproduire par un cône évasé de cuivre noirci sur lequel s'adapte l'obturateur en carton destiné à le fermer.

Au milieu de la monture de l'objectif se trouve le diaphragme qui est représenté à part à côté de la figure. Il est composé d'une rondelle en cuivre qui dépasse extérieurement la monture et qui est percée de trous qui constituent les diaphragmes proprement dits. Cette rondelle tourne autour d'un centre placé plus haut que l'axe de l'objectif et les trous qui constituent les diaphragmes se trouvent tous à égale distance de ce centre. Cette rondelle tourne, à frottement doux entre deux plaques circulaires percées à leur partie centrale. Un ressort agit sur la rondelle et s'engage par son extrémité dans des cavités très-peu profondes, de sorte que, tournant de l'extérieur de l'objectif la rondelle, on entend chaque fois un choc quand l'ouverture du diaphragme concorde avec l'axe de l'objectif.

Dans l'objectif que nous avons sous les yeux, les ouvertures des diaphragmes sont telles que les temps de pose sont respectivement du plus grand au plus petit de 1, 2, 3, 4, 5, c'est-à-dire que le plus petit diaphragme (N° 5) exige cinq fois autant de pose que le plus grand dont l'ouverture est 1, le suivant N° 2, deux fois autant, le N° 3, trois fois, ainsi de suite.

L'objectif se visse sur un anneau plat fixé sur le côté antérieur de la chambre noire, construction identique à celles des autres systèmes.

La monture de l'objectif se dévisse en trois parties comme on peut le voir sur la figure, ce qui permet d'isoler la partie qui porte le diaphragme de celle qui porte les lentilles, ce qui est indispensable quand on veut nettoyer la surface intérieure des lentilles.

Les personnes familiarisées avec l'optique photographique comprendront, à la seule inspection des données numériques

énoncées plus haut, la grande originalité de l'objectif-globe. Les pinceaux lumineux émis par les objets extérieurs situés sur l'axe ou hors de l'axe de l'objectif frappent normalement la surface extérieure du ménisque qui les regarde, émergent du premier ménisque, vont frapper *à peu près* sous l'incidence normale la face concave du second ménisque et émergent du système entier en formant avec l'axe le même angle qu'à l'immergence. De là destruction complète de la distortion et à peu près complète de l'astigmation.

Les lentilles flint ne servent ici qu'à l'achromatisme, mais le choix de la surface extérieure de crown est tel que ces lentilles flint rendent le champ plus plat que si, renonçant à la destruction du foyer chimique, on réduisait l'objectif à deux lentilles simples convergentes ayant comme rayons de courbure 1412 et 1620. L'angle embrassé par l'objectif est très-considérable et dépasse 75°, de sorte que la longueur du plus grand côté du plan focal nettement couvert est plus grand que la distance focale de l'objectif qui a pour mesure la distance du plan focal principal au diaphragme. L'examen de quelques objectifs-globes nous a prouvé qu'un objectif de 10 centimètres de distance focale couvre *nettement* un plan focal de 14c sur 12c. Sous ce rapport cependant l'objectif-globe est inférieur au *doublet* de M. **Ross** et au *périscope* de M. **Steinheil** mais il possède sur le premier l'avantage d'être complètement exempt de distortion et d'être plus rapide à égalité de diaphragme, et sur le second celui d'être exempt de foyer chimique.

Sous bien des rapports donc l'objectif-globe serait un objectif précieux pour les photographes s'il n'offrait pas une aberration sphérique extrêmement considérable. Aussi les diaphragmes que porte l'objectif doivent-ils être extrêmement petits (pas inférieurs cependant à $f/72$, sinon des phénomènes de diffraction se produiraient dans l'image), jamais supérieurs à $f/36$ sinon l'image manquerait de netteté sur toute l'étendue du plan focal.

Cette nécessité de très-petits diaphragmes n'a pas seulement pour

effet de rendre l'objectif très-lent. Ce ne serait là qu'un défaut bien remédiable en augmentant le temps de pose. Mais il a un résultat plus fâcheux, c'est de donner des images dans lesquelles les premiers plans sont généralement trop peu venus (trop noirs) et des horizons *solarisés*, c'est-à-dire dans lesquels les détails sont perdus par suite d'une exposition trop longue. En un mot l'image manque de brillant, de relief, et ne possède ces qualités que dans le cas où le sujet à reproduire offre une très-grande surface sans premiers plans, tels qu'un panorama, une carte géographique, une gravure. Ce défaut est du reste commun à tous les objectifs non-aplanétiques et le seul qui fasse exception est peut-être l'objectif simple et surtout celui de M. **Dallmeyer**, objectifs dont l'aberration sphérique est beaucoup moins grande que dans l'objectif-globe.

Si le diaphragme le plus petit est employé (celui de $f/72$), l'image est d'une très-grande finesse, sensiblement égale à celle des objectifs aplanétiques. De plus, dans ce cas la profondeur de foyer de l'objectif-globe est tellement considérable que tous les objets situés à plus de 70 fois la distance focale de l'objectif se retrouvent parfaitement nets sur le verre dépoli de la chambre noire. De plus, l'étendue du champ est alors fort considérable, mais alors surtout l'image manque de ce brillant qui lui donne sa valeur artistique.

L'usage de cet objectif est restreint à la reproduction des monuments, des paysages et surtout des cartes et des gravures. Comme il ne donne des épreuves fines qu'à la condition d'être muni de diaphragmes très-petits, il ne saurait servir à la reproduction des paysages animés. Il est donc restreint à la reproduction de la nature morte qui peut sans inconvénient exiger de longs temps de pose. Il faut toujours s'en servir avec le plus petit des diaphragmes qu'il porte pour obtenir une grande netteté dans l'image et un champ considérable. Il faut éviter, lorsqu'on reproduit un paysage ou un monument, des avant-plans trop rapprochés qui se traduiraient trop noirs, de

même que des plans très-éloignés qui seraient confondus avec le ciel et manqueraient de détails par la cause que nous avons énoncée plus haut. Jamais l'objectif-globe (ni les objectifs non-aplanétiques dont la description suit) ne peuvent reproduire un paysage ou une vue quelconque avec ses nuages. Cette qualité est réservée aux objectifs dont le diaphragme est tout au plus de $f/20$ à $f/30$, tels que le triplet, l'orthoscopique, l'objectif simple nouveau modèle.

La lentille panoramique de M. Sutton. — La nécessité dans laquelle on se trouve d'employer concurremment avec cet objectif des glaces courbes, en rendra toujours l'emploi fort restreint, aussi ne nous étendrons nous pas longtemps à sa description.

La figure 66 représente une coupe de la lentille. Deux lentilles A et B en verre à courbures sphériques concavo-convexes sont fixées dans un anneau métallique E, qui se visse sur un second anneau plat F, fixé sur la chambre noire. La partie creuse C est remplie d'eau. Les surfaces des lentilles en verre sont concentriques, le centre optique de la combinaison coïncide donc avec le centre de figure. L'achromatisme est obtenu en donnant des rayons de courbure déterminés par le calcul aux surfaces des lentilles de verre, qui pour l'eau pure et le verre dont l'indice de réfraction est 1,57, est de 1 à 2.

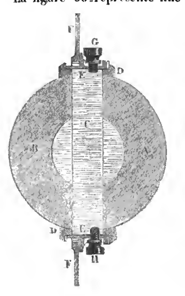


Fig. 66.

Un pareil objectif possède une aberration de sphéricité considérable et un champ très-courbe. Voyons comment M. Sutton a écarté ces deux imperfections. En introduisant un diaphragme

d'une petite ouverture (*f*/30 à *f*/60) entre les deux lentilles de verre et à égale distance de chacune d'elles, l'aberration sphérique est complétement détruite et les images prennent une grande netteté. Mais il est facile de concevoir que le verre dépoli serait inégalement illuminé, puisque pour des rayons parallèles à l'axe, le diaphragme circulaire présenterait une ouverture plus grande que pour des rayons obliques, et surtout aussi fortement obliques que ceux que la lentille est destinée à inclure. Or, au lieu d'un diaphragme unique, M. Sutton en prend deux qu'il place à égale distance du centre de la sphère qui constitue l'objectif et des courbures concaves des lentilles de verre, et il en rend l'ouverture elliptique, le grand axe de l'ouverture se trouvant dans le sens *horizontal*, car il destine son objectif à inclure *horizontalement* un grand angle, en d'autres termes, à des vues *panoramiques*. Reste maintenant une seconde difficulté, la courbure du champ. Pour cela, M. Sutton diminue dans le sens *vertical* la dimension de sa glace et la courbe dans le sens *horizontal*. Il suit de là que la glace dépolie, au lieu d'être plane, est une portion de cylindre. Dans ses conditions l'image obtenue est à l'image qu'on obtiendrait avec un verre plat (ou un objectif simple de la même distance focale), comme 1 est à 3. (L'angle horizontal embrassé par la lentille est de 100° et vertical de 30°.

L'objectif de M. Sutton est, comme l'objectif globe, exempt de distortion. Mais cette qualité est peu importante puisque cet objectif est uniquement destiné aux vues panoramiques dans lesquelles la distortion est peu sensible. En revanche il possède au point de vue de la petitesse du diaphragme les défauts signalés à propos de l'objectif globe, mais ces défauts sont ici moins sensibles, parce que les panoramas n'offrent généralement pas de premiers plans et qu'en tous cas, s'ils les offraient, l'objectif ne les reproduirait pas parce que le grand angle qu'il embrasse est horizontal et non vertical. De plus, les panoramas possédant un pouvoir lumineux considérable, l'image possède plus de brillant que ne le ferait supposer la petitesse du diaphragme.

Le périscope de M. A. de Steinheil. — Cet objectif que nous ne connaissons, au moment où cet ouvrage s'imprime, que par les lettres privées de l'inventeur est (fig. 67) composé de deux ménisques en crown CE, DF dont la concavité se regarde et identiques entr'eux, entre les deux et à égale distance des lentilles se trouvent les diaphragmes LL'.

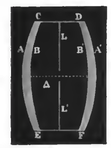


Fig. 67.

Diamètre des lentilles		1256
Rayon de courbure des surfaces A et A'	+	1755
» » B et B'	—	2076
Δ ou distance des deux lentilles		1256,35 ou 829
Epaisseur des lentilles mesurée sur l'axe		125,6
Indice de réfraction : $n_o = 1,5233$		
$n_v = 1,5360$		
Distance focale du système (foyer visuel)	f_o	10,000
d° d° (foyer chimique)	f_v	9,754
Ouverture du diaphragme $f/40$		251,3

Cet objectif est le meilleur qui puisse être produit à l'aide de deux lentilles simples non achromatisées. Il possède, à la vérité, un foyer chimique qui nécessite une rectification après chaque mise au point, mais cette rectification est simple et facile, puisque la quantité dont il faut avancer le plan focal vers l'objectif est toujours une fraction égale de la distance focale, à savoir $\frac{39}{40}$ ou 975 millièmes de cette distance. D'ailleurs la profondeur de foyer de cet objectif est si considérable qu'une légère erreur dans cette rectification n'entraînerait nullement la perte de la netteté de l'image.

Les pinceaux incidents, obliques ou parallèles à l'axe, forment avec l'axe principal le même angle à l'entrée de l'objectif qu'à la sortie. Le centre optique du système composé coïncide donc avec le centre de figure situé sur l'axe à une distance égale des deux lentilles, où se trouve aussi le diaphragme. Il en est ainsi dans tous les doublets symétriques, par exemple dans l'objectif globe, aussi le périscope est-il comme ce dernier complétement exempt de *distortion*.

Le champ de l'objectif périscope est très plat (c'est-à-dire que

l'image est rigoureusement nette sur toute la surface du verre dépoli). De tous les objectifs connus, c'est celui dont la distance focale est la plus courte pour une même étendue d'image nettement couverte, puisque cet objectif, avec un diaphragme d'une ouverture de $f/60$ à $f/72$, couvre un angle de 100°.

C'est aussi celui dont le diamètre est le plus faible, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant que nous a communiqué M. de Steinheil :

Nos.	DIAMÈTRE DE L'OBJECTIF EN MILLIMÈTRES.	DISTANCE FOCALE DE L'OBJECTIF EN CENTIMÈTRES.	GRANDEUR DE L'IMAGE EN CENTIMÈTRES.
1	8,9	7,4	12.2
2	11,2	8,9	17,6
3	18,0	14,4	27.0
4	22,5	17,6	33,2
5	33,8	35,2	56,8
6	56,4	58,7	81,2
7	47,4	40,6	81,2

On voit donc que cet objectif présente des avantages considérables. Voyons ses désavantages qui sont communs (et le seront toujours sauf le premier) à tous les objectifs non aplanétiques.

D'abord la nécessité de corriger chaque fois la mise au point, vu que l'objectif a un foyer chimique.

Secondement, l'emploi forcé de diaphragmes excessivement petits dont l'ouverture sera comprise entre $f/40$ et $f/72$. Avec la plus grande $f/40$ le champ est beaucoup moins plat et l'image beaucoup moins nette qu'avec le second $f/72$. Toutefois sous ce rapport le périscope est supérieur à l'objectif globe, son aberration sphérique étant beaucoup moins considérable.

Mais l'emploi forcé de si petits diaphragmes donne lieu à des images photographiques ternes, et sans cette vigueur que l'emploi de grands diaphragmes procure seule. Le lecteur peut du reste pour cet objet s'en référer à ce que nous avons dit à propos du même sujet, page 107.

Le périscope n'est pas aussi exempt d'astigmation que l'objectif-globe, surtout si l'on considère les pinceaux les plus obliques. Mais cependant cette aberration est peu sensible.

Cet objectif a donc pour lui beaucoup de qualités comme l'objectif-globe. Mais il ne sera jamais d'un usage général parce qu'il exige de trop petits diaphragmes. On peut du reste à propos de ces objectifs lire la préface de ce livre dans laquelle nous développons nos raisons contre l'emploi des objectifs non aplanétiques.

Le doublet de M. Thomas Ross. — Cet objectif dont ci-contre la figure(1) (représentant exactement et en grandeur naturelle le modèle de 110 mill. de distance focale) est composé de deux ménisques achromatisés NM et HG (la surface G regardant l'objet à reproduire). Chacun de ces ménisques peut être employé isolément comme objectif simple. Les deux objectifs sont fixés dans des anneaux qui s'engagent dans un tube BB', EE', lequel tube se termine vers l'objet à reproduire par un tube plus large FF sur lequel s'adapte l'obturateur. Le tube se visse sur l'anneau AA' fixé sur la chambre noire. Les diaphragmes, dont l'ouverture maximum est $f/15$ et minimum est $f/45$ sont gradués et construits comme ceux de l'objectif-globe. De plus une plaque glissante Z permet d'ouvrir ou de fermer l'objectif indépendamment de l'obturateur.

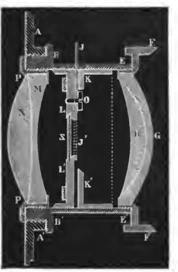


Fig. 68.

Cet objectif est supérieur à l'objectif globe en ce qu'il possède

(1) M. Ross nous a communiqué les données numériques relatives à cet objectif mais nous a prié de ne pas les publier.

moins d'aberration de sphéricité, ce qui permet l'emploi de diaphragmes moins étroits. Il embrasse un angle de 80 degrés et est presque exempt de distortion. Mais il possède les désavantages communs à l'*objectif-globe* et au *périscope*, à savoir l'emploi forcé de trop petits diaphragmes, ce que nous avons développé dans la préface de cet ouvrage, et aussi page 107.

Son usage, de même que celui de l'objectif-globe et du périscope est précieux pour la reproduction de la nature morte, et surtout des monuments dont la distance est très-rapprochée. Il donne des images d'une remarquable netteté et possède une très-grande profondeur de foyer, qualités qui le font ranger parmi les meilleurs objectifs non-aplanétiques.

SECTION II. — *Les objectifs aplanétiques.*

L'objectif orthoscopique. — Cet objectif a été inventé par M. ***Petzval***, de Vienne, et est basé sur des calculs extrêmement ingénieux. La figure ci-contre le présente tel que le construisent MM. ***Harrisson*** et ***Schnitzer***, de New-York.

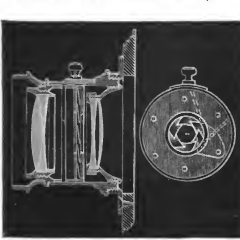


Fig. 69.

Il est constitué par un ménisque achromatique dont la face convexe regarde l'objet à reproduire. Ce ménisque n'est pas entièrement exempt d'aberration de sphéricité mais complètement exempt d'aberration chromatique. Employé seul dans la position représentée par la figure, il donnerait une image peu nette au centre du plan focal et en tout cas les bords de l'image seraient complètement diffus. Mais derrière cette lentille et à une

certaine distance se trouve un second ménisque, mais divergent qui a pour but, d'abord de corriger l'aberration sphérique du système entier, secondement d'allonger la distance focale des pinceaux obliques à l'axe, de manière à ce que le champ soit rendu plat, ainsi qu'il a été expliqué page 110.

Le second ménisque est formé de deux lentilles simples dont l'ensemble est achromatique, la première lentille, celle en regard du ménisque antérieur, est biconcave et en flint, la seconde est un ménisque convergent en crown. Les deux lentilles ne sauraient donc être collées ensemble comme celles qui constituent le ménisque antérieur.

L'ouverture de l'objectif orthoscopique est de $f/8$ environ. Il peut s'employer avec toute son ouverture et est alors d'une très-grande rapidité, mais alors l'étendue de l'image nette n'est pas de plus de la moitié de sa distance focale. Mais entre les deux lentilles se trouve un diaphragme formé de lamelles de cuivre imbriquées qui permettent d'en diminuer l'ouverture jusqu'à $f/30$. Avec cette dernière ouverture, l'image nette devient d'une étendue beaucoup plus grande, et égale à la distance focale de l'objectif employé. Avec cette ouverture de diaphragme ($f/30$), la profondeur de foyer de l'objectif est extrêmement considérable et l'image encore très-brillante puisque ce diaphragme est, relativement à ceux employés pour l'objectif-globe et les autres objectifs non aplanétiques, encore très-grand.

En un mot, l'objectif orthoscopique possède tous les avantages du triplet dont nous parlerons plus loin, moins l'absence de la distortion. En effet, l'objectif orthoscopique reproduit la fig. 55 par la fig. 57, il ne saurait donc convenir à la reproduction des monuments, des gravures, etc., et c'est regrettable car il possède des qualités essentielles.

L'objectif double à portraits. — Cet objectif a été inventé par M. ***Petzval*** de Vienne, et décrit par ce savant illustre dans un mémoire présenté à l'académie des sciences de Vienne, mémoire qui est un chef-d'œuvre au point de vue mathématique,

mais dont malheureusement nous ne pouvons donner d'analyse ici à cause du cadre restreint dont nous disposons et surtout du genre de lecteurs auquel cet ouvrage s'adresse.

Plusieurs opticiens ont réclamé la priorité de l'invention de l'objectif double, se basant sur ce qu'ils avaient construits des objectifs à deux lentilles bien avant la publication du mémoire de M. **Petzval**. Mais ces objectifs n'étaient nullement conformes à

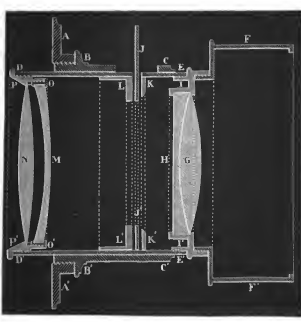


Fig. 70.

Diamètre de la combinaison antérieure		2977
Crown biconvexe	$+R$	5385
	$+R'$	5701
Flint biconcave	$-R''$	5701
	$-R'''$	102.662
Diamètre de la combinaison postérieure		3317
Flint, ménisque divergent	$+R$	15030
	$-R'$	5844
Crown biconcave	$+R''$	10195
	$+R'''$	10195
Distance des deux combinaisons		2424
Distance focale absolue		10.000
Ouverture totale de l'objectif $f/4$		= 2500
Ouverture du plus petit diaphragme $f/25$		= 400

l'objectif double universellement adopté aujourd'hui, bien inférieurs à ce dernier, et n'admettaient qu'une ouverture de $f/10$. Ils ressemblaient beaucoup à la figure 46, mais le ménisque de devant était plus petit. Ces réclamations n'ont donc aucune valeur scientifique et sont, du reste, par cette cause, tombées aujourd'hui dans l'oubli.

La figure 70 représente en grandeur naturelle l'objectif double de ***Petzval*** construit par M. ***Dallmeyer*** sous le nom d'objectif rapide pour épreuves stéréoscopiques et dont la distance focale est de 4,62 pouces anglais. Ce modèle réunit la plus grande perfection avec la plus grande ouverture possible ($= f/4$). En voici les données numériques, la nature du verre étant la même que celle de l'objectif simple décrit page 135 (1).

Cet objectif est donc composé :

1° D'un ménisque HG achromatisé (presque plan convexe) dont la surface convexe regarde l'objet à reproduire. Ce ménisque, serti dans un anneau II', se visse sur un tube DEE'D' lequel reçoit le tube plus large FF' qui se ferme à l'aide d'un obturateur en cuivre ou en carton.

2° D'une combinaison bi-convexe NM, formée d'un ménisque M divergent en flint placé à une certaine distance d'une lentille bi-convexe N en crown. Le flint serti dans un anneau OO' se visse dans l'anneau PP' qui reçoit le crown. Un anneau sépare les deux lentilles à la distance assignée par le calcul. Cette lentille se fixe à l'extrémité opposée du tube DEE'E. Du reste, la

(1) Voici les indices de réfractions des verres d'optique de Chance, de Birmingham, qu'emploient les opticiens anglais :

	Densité.	Indice de réfraction.	Pouvoir dispersif.
Crown N° 1,	2.48	1.50	0.039
Crown N° 2,	2 51	1.52	0.04
Flint léger N° 1,	3.2	1.57	0.0475
Flint lourd N° 2,	3.64	1 62	0 055
Flint très-lourd N° 3,	3 84	1.64	0.059

figure, dessinée avec une grande exactitude, fait bien voir les détails de la construction.

LL′, KK′ sont deux disques qui livrent passage aux diaphragmes. L'ouverture de ces derniers est graduée de manière que, connaissant le temps de pose exigé par l'un d'eux, l'on trouve celui d'un autre par une simple multiplication.

Essayons de donner une idée de la théorie de l'objectif de Petzval. Pour cela enlevons de l'objectif la combinaison postérieure (celle qui regarde le verre dépoli). La combinaison de devant, dont la forme est sensiblement plan-convexe, est à peu près exempte des aberrations chromatique et sphérique. L'image que donnera donc cette lentille *des objets situés sur son axe où très-peu obliquement par rapport de cet axe* sera donc très-nette, mais d'une très-faible étendue par rapport à la distance focale, en revanche elle sera très-brillante. Mais pour les objets situés hors de l'axe principal, l'image sera complétement diffuse, le champ étant très-courbe (1).

La combinaison postérieure (NM fig. 70) doit donc réunir les conditions suivantes :

1° Corriger l'aberration sphérique (positive ou négative) que peut posséder la combinaison antérieure, et être exempte elle-même de cette aberration ainsi que d'aberration chromatique;

2° Allonger la distance focale des faisceaux obliques à l'axe émergents de la lentille frontale, tout en réduisant l'astigmation au moindre degré possible.

---

(1) Retournée et munie d'un diaphragme, la lentille donne une image moins brillante mais nette sur une plus grande étendue de verre dépoli. En effet, nous avons alors l'objectif simple primitif décrit page 129. C'est pour ce motif que beaucoup d'opticiens recommandent leurs objectifs comme servant à la fois pour portraits et vues, en remplaçant la lentille NM (fig. 70) par la lentille HG, et il suffit pour cela de dévisser l'anneau PP′ et le remplacer par l'anneau EE′, la lentille HG présente alors sa face plane ou concave à l'objet à reproduire.

Mais ainsi que nous l'avons vu à l'article *objectif simple*, jamais ce système ne saurait être bon, parce que la lentille frontale de l'objectif double de Petzval n'a pas la forme que doit avoir un bon objectif simple.

La lentille frontale HG étant choisie arbitrairement mais aussi complétement exempte d'aberration sphérique et chromatique que possible, on construit la combinaison postérieure NM sur les formules du prof. Petzval. Si le système composé n'est pas exempt de foyer chimique, on substitue à la face plane de la combinaison frontale une autre face, ainsi que nous l'avons expliqué à propos de l'objectif simple page 130 dans la note, et l'on éloigne ou l'on rapproche entre elles les deux lentilles N et M de manière à corriger l'aberration sphérique résultant de l'opération précédente (correction du foyer chimique). Si l'on ne fait pas cela, l'objectif entier peut posséder de l'aberration sphérique et dans ce cas il ne donne pas ces images d'une netteté tranchée que doit donner un bon objectif.

En tous cas, il faut que le calcul donne d'abord très-approximativement les données relatives à l'objectif, les corrections précédentes ne pouvant avoir lieu que dans d'étroites limites.

La seconde condition est infiniment plus difficile à réaliser. C'est la lentille négative de la combinaison postérieure qui, par sa forme ménisque dont la convexité est dirigée vers la combinaison antérieure, rend le champ de la combinaison entière plat. Mais pour en faire la démonstration il nous faudrait plusieurs pages de calculs que l'on retrouve, du reste, dans le mémoire de M. Petzval.

Généralement la lentille antérieure (celle en regard de l'objet à reproduire), est un peu plus petite que la lentille postérieure, ou, si on les fait égales, réduite à une portion de sa surface par un obturateur. Ceci a pour conséquence l'égalité de l'intensité lumineuse de l'image sur un plan focal d'une certaine étendue. Car soient A et B (fig. 6, Pl. 1) les lentilles de l'objectif double dont l'axe principal HG fait avec l'axe oblique IJ d'un faisceau RR' de rayons incidents, un petit angle GBI $= a$, tel que le rayon réfracté *be* rencontre la partie supérieure *e* de la lentille A, il est clair que si l'angle *a* augmente, l'image, dont l'intensité lumineuse était égale sur le plan focal HJ ne le sera

plus, puisque le rayon *be* émergeant de la lentille frontale B ne traversera plus la seconde lentille A et frappera la monture CD. Pour obtenir une grande égalité lumineuse sur un plan focal de 30° d'étendue (l'angle *a* étant par conséquent de 15°) il faudrait, ou augmenter le diamètre de la lentille A ou interposer en MM' un diaphragme qui limite l'étendue du faisceau de rayons obliques incidents.

Cette dernière méthode est préférable à la première, parce qu'il y a un très-grand inconvénient à augmenter le diamètre de la lentille A, inconvénient qui consiste surtout dans la grande valeur que prennent alors l'aberration sphérique pour les rayons obliques à l'axe et l'astigmation qui se reconnaît dans l'image par l'épaississement des lignes (soit horizontales, soit verticales, suivant la position du verre dépoli) de l'objet à reproduire.

Le champ de l'objectif double est généralement assez courbe avec toute son ouverture. On le rendrait aisément plat en augmentant le diamètre de la lentille postérieure A sans l'inconvénient que nous venons de signaler. Il vaut mieux rendre le champ plat (c'est-à-dire rendre l'image nette sur les bords en même temps qu'au centre) par l'emploi d'un diaphragme et chercher la rapidité dans les procédés chimiques des surfaces photographiques.

L'objectif double est destiné aux portraits parce qu'il est le plus rapide parmi toutes les combinaisons optiques inventées jusqu'ici. Muni d'un diaphragme très grand ($f/3$ ou $f/6$) il ne couvre nettement qu'une petite étendue de plan focal ($f/3$) mais avec un diaphragme plus petit, $f/10$ par exemple, l'étendue de l'image nette s'accroît beaucoup et devient $f/2$ à $2f/3$. Enfin avec un diaphragme $f/20$, l'étendue de l'image devient égale à f.

La profondeur de foyer de l'objectif double est très faible, surtout quand on lui laisse toute son ouverture, aussi n'obtient-on cette qualité qu'à la condition de se servir d'objectifs à très-court foyer munis de petits diaphragmes qui en limitent l'ouverture de $f/6$ à $f/10$ pour les portraits, de $f/10$ à $f/20$ pour les groupes, et de $f/20$ à $f/30$ pour les paysages et monuments.

L'objectif double est à peu près exempt de distortion, à la condition que le diaphragme qu'il porte soit placé entre les deux lentilles comme nous l'avons représenté fig. 70, mais jadis le diaphragme était placé (et l'est encore par quelques opticiens arriérés) au devant de l'objectif. Alors la distortion de l'image a lieu comme dans l'objectif simple.

Le Triplet. — Nous avons parlé déjà à diverses reprises de ce remarquable objectif entr'autres pages 111, 116, 137 etc.

Le triplet que nous décrivons ici est celui construit par M. **Dallmeyer** qui doit être regardé comme l'inventeur de cet objectif. La fig. 71 représente *très-exactement* le modèle de 7 pouces anglais de distance focale. Voici les données numériques du système, le verre employé est de **Chance,** de Birmingham, identique, comme indice de réfraction et pouvoir dispersif à celui de l'objectif simple décrit page 135. (Voyez aussi la note de la page 150).

A la seule inspection de la figure, l'on comprend la construction du triplet, dont voici du reste la description :

GH, IQ, JK sont des ménisques achromatisés et formant des lentilles uniques, quoique composées chacune de deux lentilles collées entr'elles par leur surface commune. Le premier et le dernier sont convergents, celui du milieu divergent. Ces trois lentilles sont montées dans un tube CFED, DE pouvant se couvrir par un obturateur en carton. Ce tube se visse sur un anneau AA' que l'on fixe sur la chambre noire.

Les diaphragmes L sont gradués et s'introduisent entre deux disques *mm' nn'*.

Lorsqu'on veut faire usage de cet instrument pour des paysages ou pour faire des reproductions grandeur naturelle, la combinaison JK (la plus petite) doit toujours être tournée du côté de l'objet à reproduire, et la combinaison GH (la plus grande) tournée vers la glace dépolie de la chambre; mais lorsqu'on veut s'en servir pour agrandir, la combinaison doit être renversée et tournée dans l'autre sens, GH regardant l'objet à reproduire et JK l'écran ou la surface sensible placée dans la chambre.

Pour les groupes et les effets instantanés, l'objectif doit être employé avec l'ouverture la plus large possible, de manière à obtenir le maximum de rapidité. Mais pour les paysages et les

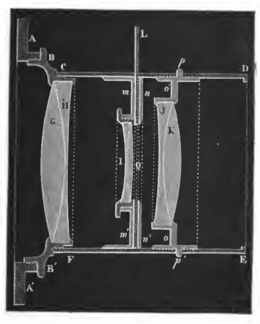


Fig. 71.

Diamètre de la lentille frontale JK.	1714
Crown bi-convexe $\left\{\begin{matrix} +R \\ +R \end{matrix}\right.$	3128 2386
Flint bi-concave $\left\{\begin{matrix} -R \\ -R \end{matrix}\right.$	2386 20228
Diamètre de la combinaison négative IL	1071
Flint bi-convexe $\left\{\begin{matrix} +R \\ +R \end{matrix}\right.$	14200 4528
Crown bi-concave $\left\{\begin{matrix} -R \\ -R \end{matrix}\right.$	4528 3200
Diamètre de la combinaison HG	2286
Flint bi-convexe $\left\{\begin{matrix} -R \\ -R \end{matrix}\right.$	30300 3557
Crown bi-convexe $\left\{\begin{matrix} +R \\ +R \end{matrix}\right.$	3557 4728
Distance des lentilles HG, JH	1257
Distance focale du système	10000
Ouverture du plus grand diaphragme $f/10 =$	1000
d° petit d° $f/30 =$	333

reproductions, lorsque le temps de pose a une moindre importance, on peut employer des diaphragmes plus petits (c'est une

des raisons pour laquelle le triplet sera généralement préféré à l'objectif-globe), en se rappelant toujours que ce qu'on appelle profondeur de foyer ne peut jamais s'obtenir légitimement que par l'usage des petits diaphragmes.

Si on le désire, la combinaison IQ peut être enlevée, en dévissant d'abord la combinaison GH. Lorsqu'on emploie les combison GH et JK seules, le foyer se trouve raccourci de moitié, et la rapidité de l'action photogénique se trouve, par suite, augmentée d'autant; mais quoique, dans ce cas, le système soit achromatique, le champ reproduit est beaucoup trop courbe, et l'appareil ne saurait alors jouer le rôle d'appareil à portraits, si ce n'est dans quelques cas spéciaux. Lorsque surtout il s'agit de portraits pris à l'extérieur, de groupes ou de reproductions, il est nécessaire d'employer les trois combinaisons disposées comme l'indique la figure.

Voici les avantages et désavantages du triplet de M. **Dallmeyer.**

1° A égalité de distance focale, il couvre nettement un plan focal beaucoup plus grand que l'objectif simple ordinaire, mais moins grand que le nouvel objectif simple du même opticien et surtout que le doublet de M. **Ross** et le périscope de M. **Steinheil.**

2° Il est, dans les limites de la pratique, exempt de distortion mais non pas d'astigmation comme l'objectif-globe.

3° Mais il est exempt, suivant l'axe, d'aberration sphérique, ce qui est précieux pour la reproduction des paysages animés, des portraits et groupes en plein air, etc. Sous ce rapport il est supérieur à l'objectif orthoscopique et surtout à l'objectif double ordinaire dont la profondeur de foyer avec la même ouverture est beaucoup moindre que celle du triplet.

4° Avec un diaphragme du trentième de la distance focale il couvre nettement une surface de plan focal dont le plus grand côté est égal à sa distance focale, et cette ouverture de diaphragme est suffisante pour donner des images brillantes. — Doit-on

augmenter par l'insuffisance de la lumière ou tout autre cause le diamètre du diaphragme, la finesse de l'image ne diminue pas (on ne diminue ainsi que l'étendue de la surface nettement couverte). Cet avantage est, dans la pratique, si considérable qu'il rend le triplet le plus indispensable des objectifs actuellement connus. L'usage du triplet est donc à peu près universel.

CHAPITRE VII.

DE L'EMPLOI DES OBJECTIFS PHOTOGRAPHIQUES.

Dans ce chapitre nous devons décrire la manière de faire usage des objectifs pour les différentes branches de la photographie, à savoir : le *portrait*, la reproduction des *paysages*, des *monuments*, des *cartes géographiques* et *tableaux*, des *photographies*, etc. Les préceptes communs à tous ces procédés, à savoir : la *mise au point*, le *temps de pose* variable avec l'ouverture du diaphragme, l'essai préalable de la *position du verre dépoli* de la chambre noire, l'*essai* de l'objectif eu égard au *foyer chimique* qu'il pourrait avoir. Nous suivrons pour cette description l'ordre naturel des opérations.

La chambre noire. — La chambre noire dont se servent les photographes est tellement connue que toute description en est inutile. Voici les points principaux sur lesquels nous appelons l'attention du lecteur :

1° Une glace finement dépolie que l'on frotte même d'un peu d'huile pour en rendre le grain plus fin est nécessaire pour une exacte mise au point.

2° Il faut, avant de se servir d'une chambre noire, vérifier si le verre dépoli et la glace du châssis à glace occupent exactement la même place, et pour cela, mesurer avec une règle leur distance à l'anneau de cuivre de l'objectif fixé sur la partie antérieure de la chambre noire.

3° L'objectif doit être fixé sur une planchette mobile entre deux coulisses verticales sur la partie antérieure de la chambre noire, ce qui est indispensable pour la reproduction des vues et des monuments.

4° Dans aucun cas le plan du verre dépoli ne doit pouvoir s'incliner sur l'axe de l'objectif, comme on le fait à quelques chambres noires pour portraits(1).

La mise au point. — Mettre au point consiste à rendre l'image aussi nette que possible sur le verre dépoli de la chambre noire. Quand l'objectif a une petite ouverture et une très-longue distance focale cela est très-facile, mais quand l'objectif a une courte distance focale et une grande ouverture, cela est infiniment plus difficile, parce qu'alors le moindre dérangement du verre dépoli change la netteté de l'image, ce qui résulte de ce que nous avons dit page 101.

Pour mettre rigoureusement au point il est bon de se servir de la loupe représentée fig. 72. Elle est composée de deux lentilles plan-convexes *a* et *b* dont la convexité se regarde, fixées aux extrémités du tube C glissant à frottement doux dans le tube B qui s'engage par un pas de vis dans un tube plus large A que l'on applique, pendant la mise au point, sur telle partie du verre dépoli que l'on juge nécessaire. On adapte d'abord la loupe à sa vue en glissant le tube C dans le tube B et on achève en tournant le tube B dans le tube A, en ayant soin que personne ne touche plus à la loupe, car chaque personne la règle à sa vue, sinon une erreur très-forte pourrait en résulter dans la mise au point, surtout si le verre dépoli est fin et huilé.

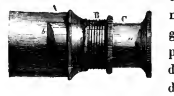


Fig 72.

(1) Dans notre *Traité général de photographie*, nous avons dit le contraire, mais un examen plus attentif de cette question nous a démontré notre erreur.

La chambre noire avec son objectif étant dirigé vers l'objet à reproduire, choisissez dans ce dernier un point nettement défini placé au centre du verre dépoli et un autre placé au bord autant que possible dans un plan moyen, c'est-à-dire, choisi entre les premiers plans et les derniers. (On examine le verre dépoli en se couvrant la tête d'un grand drap noir qui enveloppe le haut du corps et aussi la chambre noire sauf l'objectif.)

En avançant ou reculant le verre dépoli et examinant avec la loupe l'image du point du centre on arrive aisément à lui donner toute la netteté possible. Passant alors au point du bord du verre dépoli, on voit s'il est net dans l'image. Ordinairement il ne l'est pas, mais les points intermédiaires le deviennent d'autant plus qu'ils se rapprochent plus du centre. On fixe toujours le verre dépoli par une vis de pression après la mise au point.

Quand l'objectif est *aplanétique* (voyez page 90) on peut mettre l'image au point avec un grand diaphragme, alors l'image se voit mieux, mais on doit alors choisir, pour le mettre au point, parmi les plans moyens un objet bien défini situé au centre du verre dépoli. On substitue alors au grand diaphragme un diaphragme plus petit qui étend la netteté à une surface d'autant plus grande de verre dépoli que ce diaphragme est plus petit. Mais avec les objectifs *non aplanétiques*, il faut, pour mettre exactement au point se servir d'un des plus petits diaphragmes.

Cela se conçoit aisément, si l'on se rappelle qu'un point quelconque choisi dans l'objet à reproduire forme le sommet du faisceau lumineux dont l'ouverture de l'objectif est la base et le plan focal le point de concours. Le diamètre de l'ouverture de l'objectif n'a aucune influence sur ce point de concours si l'objectif est *aplanétique*, donc avec ou sans diaphragmes l'objectif doit le reproduire avec la même netteté. L'emploi du diaphragme ne fait que répartir la netteté de l'image sur une plus grande surface en augmentant la profondeur de foyer.

A proprement parler quand l'objectif est muni d'un très-petit diaphragme la place du verre dépoli n'est pas unique pour la plus

grande netteté possible de l'image (voyez page 100), de là la difficulté de la mise au point avec ce genre d'objectifs, ce que l'on n'a pas avec les objectifs aplanétiques, que l'on munit préalablement d'un grand diaphragme qui donne à l'image plus de clarté d'abord, et limite la netteté à des points déterminés, netteté qui s'étend après la substitution du petit diaphragme au grand.

Calcul des temps de pose. — Le temps de pose a la plus grande influence sur la valeur artistique d'une épreuve photographique. Trop de pose donne des épreuves ternes, trop peu de pose des épreuves heurtées, une pose exacte des images brillantes avec des ciels teintés, des ombres fouillées, etc. C'est ce qu'a compris M. ***Léon Vidal***, de Marseille, qui a publié sur ce sujet un petit ouvrage intitulé « *Calcul des temps de pose* » qui est remarquable de précision et dont cet alinéa n'est qu'un extrait.

Les causes suivantes font varier le temps de pose :

1° L'intensité de la lumière au moment de l'opération; 2° la sensibilité de la couche soumise à l'impression; 3° le pouvoir plus ou moins réfléchissant de l'objet à reproduire; 4° le rapport du diamètre du diaphragme à la distance focale de l'objectif employé.

M. Vidal mesure l'intensité de la lumière en exposant *une minute* un papier albuminé ordinaire au jour (*à l'ombre*), puis, le compare à une série de dix teintes imprimées, choisissant celle dont la coloration se rapproche le plus de celle du papier dont le *numéro* fournit un des éléments du calcul du temps de pose.

La sensibilité des couches soumises à l'impression est en moyenne dans le rapport suivant, *collodion sec au tannin* 3, *collodion humide* 24, *albumine* 1, d'où il suit que le collodion humide est 8 fois aussi rapide que le collodion sec au tannin.

Le pouvoir réflecteur s'apprécie par l'habitude, on ne doit du reste y avoir égard que dans des cas exceptionnels, tels que reproductions de paysages où le vert seul dominerait, celle de tableaux où le rouge, le jaune, le vert seraient en majorité, etc.

Enfin la quatrième donnée est la plus importante M. ***Vidal***,

admet d'abord qu'à une petite fraction près tous les objectifs sont également rapides si le rapport entre l'ouverture du diaphragme et la distance focale est le même. Tous les objectifs dont le diaphragme est $f/30$ donnent donc la même intensité à l'image, quel que soit f (distance focale), ce qui est conforme à la vérité.

Seulement M. **Vidal** exprime f en une série de chiffres qu'il prend depuis 10 à 90 centimètres et des ouvertures variables de diaphragmes, de sorte qu'ainsi ses tables atteignent une longueur qu'elles n'auraient pas atteintes en prenant le *rapport* entre l'ouverture du diaphragme et f. Seulement ses tables en sont plus pratiques, car dans notre système (et ce serait là un progrès que tout opticien devrait réaliser), le constructeur de l'objectif devrait adopter, comme il le fait du reste, des distances focales déterminées par la dimension du plan focal, puis des ouvertures de diaphragmes qui seraient un nombre fractionnaire exact de cette distance focale, tels que $f/40$, $f/30$, $f/20$, $f/10$, $f/8$. De cette manière tous les objectifs imaginables seraient comparables entre eux de même que les diaphragmes variables du même objectif.

Quoi qu'il en soit, M. **Vidal** introduit dans ses tables les éléments précédents qui, en somme, se réduisent pour l'opérateur à la mesure de l'intensité lumineuse, la connaissance de son objectif et la consultation des tables, et il obtient ainsi exactement le temps de pose.

D'ailleurs, ajoutons que s'il y a quelques légères causes d'erreur dans le calcul du temps de pose, celui-ci peut varier entre certaines limites sans changer bien sensiblement les résultats, ce que la vague appréciation employée par la généralité des personnes pratiquant la photographie est loin d'atteindre; aussi doit-on à M. **Vidal** de sincères éloges pour son remarquable et utile travail.

Essai du foyer chimique de l'objectif. — Il est de la plus haute importance, avant d'adopter un objectif, d'essayer s'il n'a pas de foyer chimique et voici de quelle manière on s'y prend pour cet objet.

Placez à quelques mètres de l'objectif à essayer le ***focimètre*** dont l'image doit se former au centre du verre dépoli. Ce focimètre est formé (fig. 75) de 8 segments de carton numérotés et placés à égale distance les uns des autres sur un cylindre de bois, leur assemblage vu de face formant un cercle. Mettez rigoureusement au point le carton n° 5, et, afin d'éviter toute erreur, servez-vous d'un verre dépoli placé dans le châssis à glace qui recevra plus tard la glace sensibilisée.

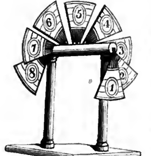


Fig. 75.

Cela fait, substituez la glace sensibilisée au verre dépoli, faites une épreuve et voyez si le carton n° 5 est bien rigoureusement net. Sinon votre objectif possède un foyer chimique. Si le carton n° 6, 7 ou 8 est le plus net (en place du n° 5 mis au point), le foyer chimique est plus long que le foyer visuel et après chaque mise au point il faudra allonger le tiroir de votre chambre noire d'une quantité variable avec la distance de l'objet à reproduire. Si c'est le carton n° 1, 2, 3 ou 4, c'est l'inverse.

De l'emploi de l'objectif pour le portrait. — Les seuls objectifs qui puissent être employés pour le portrait sont : *l'objectif double* dans l'atelier; *le triplet* et *l'orthoscope* en plein air. Ce qui suit relativement à leur emploi s'applique à tous trois, mais plus particulièrement au premier dont l'usage est le plus universel.

Premièrement se procurer un pied de bois *bien massif* afin d'éviter les vibrations (les pieds de fer sont en général à rejeter pour cet objet) lequel pied peut s'abaisser et s'élever de manière à amener l'objectif à la hauteur des reins d'une personne assise et du cœur d'une personne debout. L'axe de l'objectif doit pouvoir *plonger* d'une petite quantité, mais abuser de cette tolérance c'est s'exposer à obtenir des épreuves déformées, car théoriquement l'axe de l'objectif doit toujours être maintenu rigoureusement horizontal.

Pour le prouver soit (fig. 7, Pl. I) BCDE une personne assise, A l'objectif placé trop haut et que par conséquent on fait plonger, il est clair que l'angle *a* soustendu par la partie horizontale CD des jambes sera bien plus grand que si l'objectif était placé en A' à la hauteur des reins, dans lequel cas le même angle *a'* est bien plus petit et conforme à la vérité, puisque, sur la reproduction photographique dans le cas de l'objectif posé suivant A, la personne semblera assise sur une chaise dont le fond est incliné.

Si la personne est debout (fig. 8, Pl. I), l'objectif doit avoir son axe *horizontal* et à la hauteur DC' des épaules A de la personne qui pose. Il faudra *abaisser* la planchette qui porte l'objectif D, de manière que l'image *bac* de la personne vienne au milieu du verre dépoli, de manière que l'espace *bc* au-dessus de la tête soit sensiblement égal à l'espace *dc* sous les pieds. En opérant ainsi, aucune déformation n'est possible dans l'image.

Peu de photographes opèrent ainsi, mais inclinent l'axe de leur objectif de sorte que l'image est ainsi déformée. Tenir l'axe de l'objectif à la hauteur des reins pour reproduire une personne en pied est contraire aux lois de la perspective, la personne ayant alors toujours, dans la reproduction photographique, le cou trop court. Il vaut donc mieux opérer comme nous l'avons énoncé plus haut. Ajoutons que si l'objectif a un long foyer une légère inclinaison de l'axe ne produit point, comme lorsqu'il s'agit des vues, de déformation bien sensible de l'image.

Reproduction des paysages. — Pour ce genre de photographie, l'*objectif simple* que nous avons décrit page 138, le *triplet* et l'*objectif orthoscopique* conviennent le mieux parce que l'on se trouve souvent exposé, à cause du peu de pouvoir photogénique du vert qui forme la couleur dominante des paysages d'employer de grands diaphragmes.

Les payages n'offrant pas de lignes droites, il est loisible à l'opérateur d'incliner l'axe de son appareil soit vers le haut soit vers le bas, sans produire de déformation sensible dans l'image. C'est tout ce qu'il y a du reste à dire ici de ce genre de reproductions.

Reproduction des monuments. — Si le monument est très-rapproché, si l'on n'a pas besoin d'y voir des personnages, les *doublets* de M. **Ross** (page 148), de M. **Steinheil** (p. 144), l'*objectif-globe* (p. 138), sont les plus convenables pour cet objet. Si le monument est moins rapproché, si surtout l'on veut sur l'épreuve des personnages, alors le *triplet* (p. 154) est à préférer, vu qu'il permet l'emploi de diaphragmes plus grands et par suite une exposition plus courte à la lumière. *L'objectif simple*, l'*orthoscopique* ne conviennent nullement à cause de la distorsion (page 113) qu'ils produisent dans l'image.

Le point essentiel pour la reproduction d'un monument CBA (fig. 9, Pl. I), est de tenir la chambre noire DE parfaitement horizontale. Le plus souvent dans ce cas l'image du haut A du monument tombe hors du verre dépoli de la chambre noire, mais pour obvier à cet inconvénient il faut *hausser* la planchette qui porte l'objectif H jusqu'à ce que l'image *cba* du monument occupe la place voulue du verre dépoli.

Si, au lieu d'opérer ainsi, on inclinait l'objectif en le dirigeant vers le haut, alors les lignes verticales du monument s'inclineraient entr'elles comme le montre la fig. 10 (Pl. I), ce qu'il faut avant tout éviter.

Si, dans la reproduction d'un monument, on se trouve placé à une grande hauteur, il faut baisser la planchette qui porte l'objectif, sans faire plonger l'axe de l'objectif, sinon le même défaut de parallélisme des droites verticales se produirait, mais en sens inverse du cas que nous venons de signaler.

Il est vrai qu'en opérant comme nous l'indiquons, une partie du monument manquera toujours de netteté, à savoir, dans le cas de la fig. 9 (Pl. I) le sommet A, puisqu'en somme, en haussant l'objectif H de manière que son axe B*b* se trouve plus haut que l'axe oo′ de la chambre noire, on le fait servir pour une dimension de plan focal de *bo* plus grande que celle pour lequel il est construit, or *bo* est d'autant plus grand que BA est plus grand, d'où il suit que plus le monument est élevé, moins nette sera

son sommet A. Mais mieux vaut sacrifier la netteté de cette partie de l'image que d'obtenir ces malheureuses images déformées dans lesquelles on voit les maisons tomber vers la rue, des tours penchées, etc., ce qui fait injustement accuser l'art photographique et les objectifs de déformer les images, reproche que l'opérateur ignorant des préceptes de l'optique mérite seul.

Quant au manque de netteté du sommet du monument, on peut, dans bien des circonstances, l'éviter en partie en se plaçant avec l'appareil aussi loin que possible, et l'éviter complétement en se plaçant à une hauteur égale à la moitié de la hauteur totale du monument.

Reproduction des gravures, dessins, cartes géographiques, tableaux, épreuves photographiques, etc. — L'on emploie pour cet objet les mêmes objectifs que ceux indiqués pour le monument. Tenir la chambre noire bien horizontale, le plan de la gravure bien vertical, le point d'intersection des diagonales menées aux sommets opposés des angles de la carte, du tableau, etc., exactement sur l'axe de l'objectif, ce que l'on voit sur le verre dépoli que l'image couvre alors symétriquement, voilà les seuls préceptes qu'enseigne l'optique pour ce genre de photographie.

Les objectifs seront *renversés* s'il s'agit d'obtenir une reproduction agrandie, c'est-à-dire, que dans ce cas la lentille qui regarde ordinairement le verre dépoli regardera alors l'objet à reproduire. Pour cet objet, le triplet et l'orthoscopique seront employés de préférence à cause de leur grande ouverture qui permet une courte pose relativement aux objectifs non aplanétiques cités page 90.

Afin d'éviter dans la reproduction (en grandeur identique à celle de l'objet ou même agrandie) d'un dessin et surtout des épreuves photographiques que la distance qui sépare l'objet de l'objectif ne soit trop courte, ce qui a pour conséquence de rendre difficile l'éclairage du dit objet, il est bon de se servir d'un objectif beaucoup plus grand que celui théoriquement nécessaire.

Ainsi les *triplets* et les *orthoscopiques* de 10 à 12 pouces anglais de distance focale ne doivent pas être employés pour des reproductions (identiques comme dimension à celle de l'objet à reproduire) de plus de 16 cent. sur 20. Il en est autrement si la reproduction est moins grande que l'objet.

Dans le cas de reproductions, surtout celles d'épreuves daguerriennes et épreuves sur verre qui miroitent, on interpose entre elles et l'objectif, en contact avec ce dernier, un grand disque de velours noir avec une ouverture égale à celle de l'objectif, et cela pour éviter que l'image de l'objet ne reçoive celle de l'objectif par réflexion sur la surface polie de l'objet à reproduire.

LIVRE II.

DES APPAREILS D'AGRANDISSEMENT.

L'avenir de la photographie réside dans la solution pratique de l'amplification de petites images photographiques. En effet, avec les moyens optiques que nous possédons actuellement, nous pouvons à coup sûr produire une petite épreuve, du format carte de visite par exemple, d'une netteté absolue aussi bien au centre que sur les bords.

Si nous opérons l'agrandissement de cette épreuve à l'aide d'un *appareil parfait* nous en tirerons une épreuve d'un format plaque, double plaque, feuille entière, et même de 1 mètre de haut, avec une perfection extrême et telle qu'aucun objectif, employé directement, ne saurait en produire d'aussi belle, ni d'aussi fine. L'auteur de cet ouvrage a, en effet, produit des épreuves du format de la feuille photographique (44 cent. sur 57) si nettes, que de l'aveu d'opticiens du plus haut mérite, tel que MM. Secretan, Ross, Dallmeyer, rien ne peut être produit d'aussi fin si l'on se sert de grands objectifs.

On conçoit donc toute l'importance de cette partie de notre ouvrage, aussi allons-nous la diviser en chapitres où nous examinerons séparément :

1° La production du cliché destiné à être agrandi;

2° L'amplification du cliché (appareils d'agrandissement).

CHAPITRE I.

DU CLICHÉ DESTINÉ A L'AGRANDISSEMENT.

Dans ce chapitre nous devons examiner :
1° L'*appareil optique* qui doit produire le cliché;
2° Le *procédé photographique* à suivre pour obtenir le dit cliché.

SECTION I. — *De l'appareil optique propre à produire un très-petit cliché parfait.*

Influence de la distance focale de l'objectif. — Si l'on dirige une chambre noire munie d'un objectif sur un homme qui s'en éloigne en marchant, son image sur le verre dépoli devient de plus en plus petite, et d'autre part il faut rapprocher constamment le verre dépoli de l'objectif pour que cette image reste nette. Il y a cependant ceci de remarquable, que si l'homme est très-près de l'objectif (que nous supposons pour fixer les idées de 30 cent. de distance focale), par exemple *à 3 ou 4 mètres,* alors le mouvement à communiquer au verre dépoli est très-considérable, et qu'à mesure que l'homme s'éloigne, il arrive bientôt un moment où au contraire ce mouvement devient absolument nul. Alors la distance qui sépare l'homme de l'objectif est telle que son image se forme au foyer principal de cet objectif.

L'expérience prouve que si un objet est situé à cent fois la distance focale de la lentille objective, alors l'image du dit objet se forme au foyer principal de la lentille, de même que celle de tous les objets *situés plus loin*. La lecture des pages 101 et suivantes démontre clairement ce fait. Donc, pour produire un bon cliché, l'objet doit être très-éloigné. Mais comment concilier ceci

avec la faible longueur des ateliers vitrés, ou, s'il s'agit de vues, avec la faible distance qui nous sépare toujours des premiers plans? C'est évidemment en nous servant d'objectifs *à très-court foyer*(1). Dans ce cas, il est vrai, l'image sera très-petite, mais nette dans toutes ses parties.

Il faut, en effet, bien se pénétrer de ce principe, qu'un objectif à très-court foyer a la propriété de donner également nettes les images d'objets différemment éloignés entre eux, pourvu que ces derniers soient à une distance de l'objectif au moins égale à 100 fois sa distance focale. Pour les portraits donc, les meilleurs objectifs sont les plus petits. Voyons maintenant l'influence du diamètre des objectifs sur la netteté des images et la vérité de leur perspective.

Influence du diamètre des objectifs. — Un objectif qui a un très-grand diamètre relativement à sa distance focale, produit des images, non-seulement très-inégalement nettes du centre aux bords, mais encore fausses quant à la perspective. Ce dernier point se comprendra lorsqu'on songera que chaque point de l'objectif voit différemment l'objet à reproduire et que l'image du dit objet est en somme constituée par une infinité d'images différentes superposées, chaque point de la surface de l'objectif en formant une. Aussi les objectifs d'un large diamètre déforment-ils toujours l'objet reproduit. C'est précisément le motif pour lequel tous les objectifs qui ont plus de *deux* pouces d'ouverture ne donnent, à beaucoup près, pas d'aussi nettes images que si l'on procédait par agrandissement d'un très-petit cliché. Jamais un objectif de trois pouces, et à plus forte raison un de 4, 5 ou 6 pouces, ne donne d'images *nettes* sur toute la surface de son plan focal. Au contraire, un objectif d'un pouce ou même *de deux*, donne une image *nette* et vraie (sans déformation)

(1) Nous entendons par *objectifs à court foyer*, non des objectifs à très-large diamètre relativement à leur distance focale comme on a coutume de le faire ordinairement, mais des objectifs ordinaires très-petits.

parce que dans ce cas ce diamètre est trop faible par rapport à la distance qui sépare l'objectif de l'objet à reproduire. Aussi, bien des photographes ont-ils déjà renoncé aux objectifs de 5 et 6 pouces, et le nombre s'en accroîtra bien davantage à mesure que l'usage des appareils d'agrandissement se propagera.

Si l'on diminue cette dimension, le grossissement étant, pour un format de papier déterminé, plus considérable, les moindres défauts du verre ou de la couche de collodion deviennent trop visibles.

Appareils propres aux clichés pour portraits. — Les appareils les plus propres à cet usage sont les objectifs à carte de visite en opérant comme nous l'indiquons page 162.

Appareils propres aux clichés de vues. — La meilleure dimension pour un cliché d'agrandissement, tant pour vues que pour portraits, étant celle de la carte de visite, les petits objectifs sont préférables aux grands.

MM. ***Ross*** et ***Dallmeyer***, célèbres opticiens anglais, construisent de petits triplets qui ont seulement 3 à 4 pouces (10 cent.) de distance focale, et qui donnent des épreuves du format carte de visite avec une netteté absolue tant au centre que sur les bords. Si les premiers plans sont situés à plus de 7 à 8 mètres de l'objectif, et si l'on veut s'astreindre à ne jamais s'en servir que pour les clichés destinés aux agrandissements, alors on devra les monter sur une petite chambre noire *sans tiroir*, dans laquelle le verre dépoli est fixe, comme dans la chambre automatique de M. Bertsch que nous décrivons ci-après. N'oublions jamais les recommandations prescrites pages 164 et suivantes.

Chambre automatique de M. Bertsch. — M. Bertsch a construit spécialement pour les clichés destinés *aux paysages* de petites chambres noires où l'on ne met jamais au point, en vertu du principe posé plus haut (page 169). La figure 74 en donne un dessin exact. Dressée sur son pied à la distance de dix pas, elle voit un angle de 25° environ, angle bien plus faible

cependant que celui que l'on obtiendrait avec un triplet. La lentille G dont se sert M. Bertsch est un objectif simple, ancien système (p. 133).

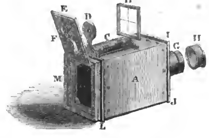


Fig. 74.

A est une boîte cubique en cuivre portant les appendices quadrangulaires I et L destinés à la rendre immobile. C'est un niveau à bulle d'air C et une mire B qui sert à placer le paysage dans le châssis M de la façon la plus favorable. Tel le paysage est compris dans le cadre B, tel il sera reproduit sur la glace sensible placée dans le châssis M. E est un volet à ressort qui fait adhérer parfaitement la glace aux coins du châssis. Les glaces sur lesquelles opère M. Bertsch ont 8 cent. de côté et sont carrées. Il a d'ailleurs construit sur le même principe des chambres automatiques à portraits dans lesquelles l'objectif double remplace l'objectif simple.

Section II. — *Du procédé photographique.*

Du verre. — L'on choisira du verre mince de 2 millimètres d'épaisseur au plus et le plus uni possible, parce que la chaleur du soleil condensée par la surface à demi-transparente de l'image qui s'y trouve, fait très-vite éclater en pièces *la glace polie* et que *le verre* résiste beaucoup mieux à cette forte chaleur. Les petites bulles et autres défauts du verre (tels que l'inégalité de la surface), n'ont aucune influence sur la perfection de l'image agrandie. L'épaisseur du verre a une grande influence sur l'accident que le verre présente de casser sous l'influence de la chaleur des rayons solaires; plus il est épais et moins il résiste à cette chaleur. Il en est de même des glaces. Il y a en outre, un autre inconvénient à se servir de verres épais, c'est qu'ils changent la marche des rayons convergents qui passent à travers, et que dans ce cas, il

faut tenir les rayons solaires dans une direction constante avec une attention soutenue, sinon, les contours de l'image se doublent, particulièrement sur les bords. Avec le verre mince ce défaut est insensible.

Le procédé. — Le seul procédé qui convienne pour les clichés destinés aux agrandissements est le collodion. Ce qu'il faut, en effet, pour un tel cliché, c'est une grande transparence dont on ne se fait guère une idée bien exacte qu'après avoir vu des clichés faits par des opérateurs expérimentés. Le collodion sec, l'albumine, ne nous ont pas donné d'aussi bons résultats que le collodion humide. Cependant ces procédés, convenablement employés, doivent réussir comme le collodion humide.

Cette transparence du cliché, sur laquelle nous ne saurions trop appeler l'attention du lecteur, et sur laquelle nous l'appellerons d'ailleurs encore, a plusieurs nécessités. La première, c'est que dans les appareils d'agrandissement, la lumière solaire doit traverser librement le cliché sinon il y a échauffement extrême de l'image et casse du verre qui la porte. La seconde c'est qu'il se forme plusieurs images superposées sur le papier, l'appareil optique agissant par la lumière *transmise* d'abord, *émise* par chaque point du cliché ensuite. Enfin, que tous les contours nettement terminés du cliché se retrouvent doublés sur l'épreuve agrandie, des phénomènes de diffraction se produisant, sur lesquels nous reviendrons plus tard.

Or, pour obtenir cette extrême transparence du cliché, et surtout une abscence complète de voile (qui a le funeste effet d'exiger une pose double et triple de celle qu'il faudrait si l'épreuve n'était pas voilée), il faut nécessairement un collodion, un bain d'argent et un révélateur bien préparés.

Tous les collodions, bains d'argent, révélateurs au fer sont bons s'ils produisent de bons résultats pour le procédé ordinaire et donner ici des formules spéciales ne serait d'aucune utilité. Mais voici la méthode opératoire qui a plus d'importance.

La glace couverte de collodion sensibilisé est exposée dans la

chambre noire un peu plus longtemps qu'à l'ordinaire. Le but de cette exposition plus longue est facile à comprendre. Si l'on prenait une pose juste, le fer ne ferait sortir les détails dans les ombres qu'après un temps assez long pendant lequel les noirs auraient pris une trop grande intensité, tandis que, en prenant une pose plus longue, l'image paraît tout d'une fois, aussi bien dans les clairs que dans les ombres. On porte donc après l'exposition à la chambre noire le cliché dans le cabinet obscur, on enlève la glace du châssis, et on prend dans un verre à bec une quantité considérable de fer, tandis que l'on place à portée de la main un bac rempli d'eau. On verse sur le cliché le fer en le couvrant très-abondamment, de manière à enlever tout le nitrate d'argent qui couvre la couche. En un mot, pour bien rendre notre pensée, on lave le cliché au fer. L'image apparaît, et dès que l'on voit apparaître les détails dans les ombres, sur le champ on plonge la glace dans l'eau, on la lave et la fixe au cyanure.

Tout le talent consiste à opérer très-vivement. D'abord *inonder* le cliché de fer, et avant que tout voile ait eu le temps de paraître (le plus souvent cinq ou six secondes après avoir appliqué le fer), tout de suite en arrêter l'action par un courant d'eau énergique, et fixer au cyanure (et non à l'hyposulfite).

Le cliché sec examiné au jour doit *à peine* laisser voir des détails dans les ombres, les noirs doivent être si faibles qu'on peut lire à travers et voir les objets même les plus délicats, sinon jamais l'agrandissement ne sera parfait. Surtout éviter le voile. Il est souvent préférable de produire un cliché trop intense (pourvu qu'il ne soit pas voilé) qu'un cliché trop faible. Car, il existe une méthode simple et facile de diminuer les clichés d'intensité et cette méthode s'applique même aux anciens clichés, pourvu qu'ils n'aient pas été vernis. Voici cette méthode.

Le cliché est d'abord mouillé à l'eau distillée, et, si la couche a de la tendance à se soulever, vernissez-en d'abord les bords avec un pinceau trempé dans une solution dans la benzine de caoutchouc découpé en feuilles minces. Trempez ensuite votre cliché

dans une dissolution de 1 gr. de perchlorure de fer sublimé dans 100 grammes d'eau distillée, et cela, pendant un temps variable de quelques secondes à plusieurs minutes. Le chlorure de fer attaque l'image, mais seulement dans ses parties les plus intenses. Lavez votre cliché à l'eau, trempez-le dans une solution faible de cyanure de potassium, lavez à l'eau. Vous trouverez votre cliché diminué d'intensité. S'il l'est trop, c'est que vous l'avez laissé trop longtemps dans le chlorure de fer, s'il l'est trop peu, recommencez (même plusieurs fois) le même traitement.

Aucun vernis, même la gomme, ne peut être appliqué sur le cliché, le vernis et la gomme en s'échauffant gâteraient toute l'image. Ce point est d'une importance extrême. D'ailleurs, le vernis détruit en partie la finesse de l'image, assertion qui paraît paradoxale, mais que les expériences les plus précises nous permettent d'affirmer.

Pour le procédé rapide à la nitro-glucose (épreuves par développement) un bon cliché ordinaire (mais non voilé) donne d'excellents résultats, ce procédé donnant généralement des épreuves dans lesquelles l'opposition des noirs aux blancs est moindre qu'avec le papier albuminé. Même des clichés vernis, qui n'ont pas été faits exprès pour l'agrandissement et qui exigeraient avec le papier albuminé ordinaire une exposition fort considérable à la radiation solaire, peuvent servir pour l'agrandissement par le procédé au développement.

CHAPITRE II.

HISTORIQUE ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES APPAREILS D'AGRANDISSEMENT.

Le but des appareils d'agrandissement est de produire des épreuves d'un grand format d'après un très-petit cliché du format carte de visite par exemple, avec une *égalité de netteté* sur toute la surface qu'on ne saurait obtenir sans leur emploi. Le soleil

étant la source de lumière la plus intense que nous possédions, c'est d'ordinaire à l'aide des rayons de cet astre que nous opérons, et d'ailleurs, dans ce chapitre, nous ne parlerons que des appareils solaires.

Deux méthodes se présentent naturellement à l'esprit pour grossir un cliché et jeter son image agrandie sur une surface sensible à la lumière qui la retient, c'est d'éclairer le cliché directement par les rayons solaires qui les traversent, ou bien de l'éclairer par ces mêmes rayons solaires concentrés par une lentille. Une vive discussion a été engagée entre plusieurs savants sur la supériorité d'une méthode sur l'autre, discussion dont nous parlerons dans le chapitre suivant.

SECTION I. — *L'appareil de Woodward et ses modifications.*

Cet appareil (fig. 75) souvent désigné sous le nom de *chambre solaire américaine*, est essentiellement composé d'une grande lentille I (fig. 75) nommée *condensateur* au foyer principal de laquelle est fixé un objectif achromatique L. Un miroir AB renvoie les rayons solaires *rr* sur le condensateur I, et le cliché J, mobile à l'aide d'une crémaillière K, est placé entre les deux lentilles à une distance qui varie suivant celle de l'écran sur lequel l'image se forme.

Voici l'appareil dans son ensemble, passons aux détails.

Le condensateur est de 8 pouces de diamètre, mais peut être plus considérable, si c'est possible de 50 centimètres de diamètre. La raison en est toute simple : plus cette lentille est grande, plus elle réunit de lumière, et plus, par conséquent, le positif s'imprime vite.

Sa distance focale ne sera pas inférieure à deux fois son diamètre, ni supérieure à trois.

L'objectif destiné à être placé en L sera corrigé pour le foyer chimique. Sa place est un peu en avant du foyer *f* du conden-

sateur. Un objectif ordinaire, simple ou double, convient pour cet objet, mais il faut avoir le plus grand soin que celle des lentilles en regard du verre dépoli dans l'usage ordinaire regarde maintenant le cliché J.

Le cliché sera mobile dans le sens de l'axe du système optique, par conséquent l'appareil doit être spécialement monté pour cet objet. C'est à quoi sert la crémaillière K.

La forme la plus ordinaire de la chambre solaire consiste dans une grande boite carrée EFGH. Le porte-miroir, que nous avons

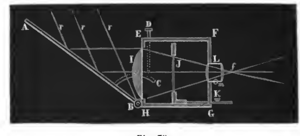


Fig. 73.

décrit page 29, est *attaché* à l'appareil aux extrémités duquel se trouvent le condensateur I et la lentille amplifiante L.

Le maniement de l'appareil est des plus simples. Il suffit de placer la partie EHBA de la chambre solaire dans l'ouverture d'une fenêtre blindée, de communiquer aux vis de rappel B et D les mouvements nécessaires pour tenir les rayons solaires réfléchis dans une direction constante I*f*, d'ajuster convenablement le cliché J de manière que son image agrandie se forme nette sur un châssis placé à distance et perpendiculaire à l'axe optique de l'appareil, et enfin de substituer à l'écran une feuille de papier sensible à la lumière ou toute autre surface photographique.

Modifications apportées à la chambre solaire de M. Woodward. — Chaque fois que l'on touchait aux vis de rappel destinées à mouvoir le miroir, on ébranlait l'appareil, de là un mouvement dans l'image agrandie d'autant plus considérable que le grossissement était plus fort. Le vent ou la moindre agitation

de l'air suffisait donc pour ébranler l'appareil et détruire ainsi la netteté de l'image.

M. **Wothly**, photographe d'Aix-la-Chapelle, apporta à l'appareil de Woodward la première modification. Le miroir fut détaché de l'appareil. Il se composait (fig. 7, pl. III) d'un grand miroir A pivotant entre deux montants verticaux B et D. Un poids attaché à la partie supérieure du miroir le sollicitait dans un sens, mais il était retenu dans l'autre par une corde *a* qui se rendait dans le cabinet noir, laquelle corde s'enroulait autour d'une poulie réglée par une vis sans fin. Deux cordes *b* et *c* communiquaient au miroir son second mouvement autour de l'axe vertical porté par le trépied C.

L'exposition du miroir était le nord, la partie étamée du miroir A regardant le midi par dessus le toit d'un petit bâtiment peu élevé. L'instrument réflecteur était donc placé à quelques mètres de l'appareil, (en plein air) comme nous l'avons expliqué page 31. La chambre solaire proprement dite était composée d'un condensateur A (fig. 6. pl. III) auquel M. **Wothly** donnait 10, 14, 18, 24, 30 et même 36 pouces de diamètre et la forme plano-convexe. Cette lentille avait environ une distance focale égale à 1 ½ fois son diamètre. Elle était montée dans un cercle de fer assujetti à trois tringles B, C, D de fer, également espacées et perpendiculaires au contour de la lentille. Sur ces tringles était fixé d'une manière permanente l'objectif F au foyer du condensateur. Le porte-cliché E se mouvait entre l'objectif et le condensateur, à l'aide d'une vis sans fin, non représentée sur la figure. L'appareil était entièrement en fer et enfermé dans une boîte de bois.

M. **Hermagis**, opticien français qui s'est rendu célèbre par le grand nombre d'excellents objectifs qu'il a livrés au commerce, apporta lui aussi une modification à l'appareil primitif de Woodward. Son porte-miroir était détaché de l'appareil et à peu près comme celui dont nous faisons usage dans notre appareil dyalitique. Seulement le miroir au lieu d'être suspendu autour de son centre de gravité, ce qui est nécessaire pour produire la stabilité,

était suspendu à sa partie inférieure par un arc de cercle attaché sur le côté du miroir. Tout le poids du miroir portait donc sur un point, aussi sa flexion était-elle considérable et avait pour effet inévitable d'altérer le parallélisme des rayons solaires réfléchis, ce qui est un défaut considérable.

A une certaine distance du porte-miroir se trouvait la chambre solaire qui était identique à celle de ***Woodward,*** sauf que le porte-cliché recevait dans son plan deux mouvements à l'aide de vis de rappel, ce qui avait pour objet de fixer la partie centrale du cliché dans l'axe de l'appareil optique. De plus, M. ***Hermagis*** introduisit entre le cliché à agrandir et le condensateur un verre dépoli mobile. On pouvait ainsi opérer avec la lumière diffuse ou les rayons solaires directs, suivant qu'on interposait ou qu'on enlevait le verre dépoli. Enfin, la chambre solaire était reliée au porte-miroir par un cylindre en étoffe pour enlever le jour qui pouvait entrer obliquement par cet intervalle.

Chambres solaires sans réflecteur. — Dès l'origine des agrandissements, plusieurs personnes, dans la fausse croyance que le miroir enlève beaucoup de lumière (la vérité est qu'il n'en enlève pas 1/8e) dirigeaient leur appareil directement sur le soleil, en montant toutes les pièces sur une seule pièce de bois ou de fer.

Le premier de ces appareils a été décrit en Angleterre en 1863 par M. ***Stuart*** et voici la disposition adoptée par lui.

Le condensateur fixé dans une boîte très-longue, est suivi du cliché et de l'objectif, précisément comme dans l'appareil américain. Sur la boîte est fixé un cône au fond duquel se trouve le châssis sur lequel est tendu le papier sensible. M. ***Stuart*** place ainsi deux appareils l'un à côté de l'autre, protège ses appareils contre le vent, et les fait mouvoir conformément à la marche du soleil à l'aide de deux mouvements l'un horizontal, le second vertical.

Chambre solaire de M. Liébert. — M. ***Liébert,*** en France, a produit un appareil basé sur le même principe, mais il

ne le protége pas contre le vent, dans la croyance que le cliché, l'objectif et l'image étant reliés ensemble, le vent ou les mouvements du sol faisant tout bouger ensemble, l'image restait immobile. Ce raisonnement paraît au premier abord fort juste, mais constitue une erreur fatale à la netteté de l'épreuve, car, pour que cela fut exact, il faudrait que le soleil lui-même bougeât dans le même sens, tandis qu'il reste immobile; aussi au moindre vent, au moindre mouvement du sol, voit-on tous les contours de l'image *se doubler* et ce défaut ôte toute la finesse à l'épreuve agrandie.

Pour bien se rendre compte de cet effet, il faut ne pas oublier que le soleil est un point lumineux fixe et que si l'appareil optique vient à bouger alors que son axe est dirigé vers ce point, cet axe se dérange et le sommet du cône lumineux, au lieu de tomber au centre de l'objectif, tombe plus ou moins sur le bord. Il en résulte un déplacement de l'image parce que l'image formée par la partie centrale de l'objectif et celle formée par le bord ne coïncident pas, et coïncident d'autant moins que les rayons de courbure des surfaces optiques qui constituent cet objectif sont plus courts. (Il n'y aurait pas de déplacement dans l'image si les rayons de courbure étaient égaux à l'infini). Ce déplacement de l'image n'est pas très-apparent et c'est probablement ce qui a induit M. **Liébert** en erreur. Mais il est toutefois facile de s'en convaincre si à un cliché ordinaire on substitue un réticule formé par deux fils très-minces tendus en croix. Marque-t-on par un point au crayon le point d'intersection dans l'image agrandie de ces fils, on voit ce point se déplacer (souvent d'un millimètre) si l'on vient à ébranler l'appareil.

Cette expérience se répète aisément avec un appareil à réflecteur. Choisissez dans l'image agrandie un point bien nettement terminé et fixez-en la place par un point au crayon. Dérangez la position du réflecteur et vous verrez le point se déranger d'une quantité, petite il est vrai, mais qui suffit pour enlever toute la netteté à l'image.

L'appareil de M. **Liébert** doit donc, de même que les instru-

ments à réflecteur, être protégé contre le vent ou les ébranlements du sol qui le supporte, sinon quoique condensateur, cliché et image agrandie soient assujettis dans une boîte commune, l'image agrandie perdra de sa netteté. Il en est du reste ainsi dans tous les appareils imaginables et essayer de faire autrement, serait nier inutilement une vérité mathématique.

La fig. 4, pl. III, fait voir l'appareil de M. **Liébert**. Une boîte rectangulaire AB porte à sa partie supérieure le condensateur *a* qui est en crown de forme plan-convexe ou concavo-convexe, d'une très-courte distance focale. Le porte-cliché *b* se meut comme dans l'appareil américain entre l'objectif *c* placé au foyer principal du condensateur et ce dernier. A la boîte est attaché un cône DC au fond duquel se forme l'image agrandie du cliché. Un soufflet intermédiaire CB entre le cône et la partie optique, permet de donner à l'appareil une longueur variable suivant le grossissement et cela à l'aide de la vis *g*.

Tout cet appareil est porté sur un pied H susceptible de deux mouvements, l'un azimuthal par la vis *e*, l'autre vertical par la vis *f*. Mais le centre de gravité de l'appareil étant placé au-dessus du point de suspension, il s'en suit une instabilité très-grande, aussi le moindre vent fait-il osciller la chambre solaire autour de son point de suspension. Pour l'éviter, il aurait fallu faire ce qu'on fait dans les lunettes astronomiques d'un grand poids, suspendre l'appareil au-dessus de son centre de gravité, entre deux montants verticaux comme le représente la fig. 5, pl. III. Alors l'équilibre eut été stable et dans les règles prescrites par la mécanique. La base LM de l'appareil devrait être très-lourde et d'un grand diamètre comme le montre notre figure. Les deux mouvements, l'un azimuthal, l'autre vertical, ont lieu par les manivelles N et O.

Enfin le défaut le plus considérable de cet appareil consiste dans la faible longueur que l'on est obligé de lui donner pour le rendre maniable, ce qui n'est obtenu qu'en donnant au condensateur et à l'objectif une très-courte distance focale. Le condensateur ne donne plus un cône de rayons solaires terminé à

son sommet par une image nette du soleil, résultat dû aux aberrations sphérique et chromatique qui sont considérables. L'objectif qui a un faible diamètre, n'embrasse pas un angle suffisant; ses bords sont couverts par une partie des rayons solaires émanés du condensateur, de là des effets de diffraction qui ont pour effet de doubler tous les contours nettement terminés de l'image, effets que nous analyserons plus en détail plus loin.

En revanche, les appareils de ce système fonctionnent facilement l'hiver, et n'exigent pas d'installation spéciale, ce qui dans les grandes villes est d'un certain avantage.

Ajoutons qu'apportant la plus sévère économie dans la construction de cet appareil, son inventeur a su en rendre le prix abordable aux petits photographes, ce qui aide à répandre le goût des agrandissements.

CHAPITRE III.

THÉORIE DE LA FORMATION DE L'IMAGE AGRANDIE DANS L'APPAREIL DE WOODWARD

De très-grandes discussions ont eu lieu en 1860 et 1861, dans les assemblées de la Société française de photographie, relativement à la théorie de l'appareil de **Woodward,** et sur les imperfections qu'il offrait.

Nous allons analyser les articles principaux de cette discussion que nous extrayons du *Bulletin de la Société française de photographie.*

Théorie de M. Claudet. — Pour M. **Claudet,** (*Bull. soc. franç. de phot.*, année 1860, pages 249 et suiv.) qui s'est le premier occupé de cette théorie, la chambre solaire réalise les conditions suivantes :

1° L'objectif agit, pour grossir le cliché, par sa partie centrale déterminée par le diamètre de l'image solaire formée au foyer

du condensateur. L'image du soleil étant, au foyer de ce condensateur, presqu'un point (et cela est exact si le condensateur n'a pas plus de 8 pouces de diamètre), il s'en suit que l'objectif amplifiant est par ce fait réduit à une fraction fort petite de son ouverture.

2° Toute la lumière émanée du condensateur traversant le cliché et puis l'objectif, sert *utilement* à imprimer l'image agrandie du cliché projetée sur une surface sensible à la lumière.

3° L'objectif amplificateur agit, pour grossir l'image, suivant la loi des foyers conjugués.

Observations de M. Bertsch. — M. ***Bertsch*** prétend que le système d'éclairage à l'aide de la lumière convergente ne saurait donner des images nettes dans l'épreuve agrandie. Examinons la valeur de ses arguments.

En premier lieu, dit M. ***Bertsch*** (*Bull. soc. franç. phot.* 1860, pages 63 et suiv.), la lentille non achromatique de grand diamètre employée comme condensateur ne donne pas un cône de lumière dont une section quelconque, par exemple celle où se trouve le négatif à agrandir, représente un cercle également éclairé. Ce cercle est constitué par des anneaux concentriques composés de rayons d'inégale réfrangibilité, le rouge étant seul visible sur sa circonférence. Or, ces anneaux diversement colorés étant inégalement réfrangibles par l'objectif grossissant, l'image quoique nette sur le négatif ne saurait l'être sur l'écran agrandi.

Cette observation est vraie et il faudrait, pour éviter le défaut signalé par M. ***Bertsch***, employer une lentille condensatrice achromatique. Cependant un examen plus approfondi de l'observation de M. ***Bertsch*** prouve que la section du cône lumineux où se trouve le cliché peut être considérée en réalité (sauf les bords) comme un cercle de lumière blanche, car s'il en est autrement à la vue, il n'en est pas ainsi pour les substances photographiques qui ne voient que le bleu et l'indigo. La preuve la plus irréfutable que l'on en puisse fournir consiste à opérer l'agrandissement d'un réticule formé de traits très-fins tracés sur une

lame de glace, à l'aide d'une chambre solaire ordinaire d'abord, et ensuite achromatisée à l'aide d'une solution bleue de chlorure de cuivre ammoniacal, comme nous l'avons indiqué page 93. L'image du réticule dans le premier cas, et celle dans le second, quoique inégalement nettes en apparence le sont en réalité également sur les épreuves agrandies.

Cette expérience que l'auteur de cet ouvrage a faite bien des fois devant des personnes compétentes, prouve avec la dernière évidence qu'il n'est pas nécessaire d'achromatiser le condensateur de la chambre solaire, parce que ce n'est pas nette sur l'écran que doit être l'image agrandie, mais seulement sur l'épreuve photographique.

La seconde observation de M. **Bertsch** n'est pas, il nous semble, plus fondée. Laissons le parler lui-même : « Pour ne pas « compliquer la question et nous renfermer dans les limites « pratiques de grossissements superficiels de cinq ou six fois, « nous admettrons que les rayons convergents qui émergent de la « lentille collective sont de la lumière blanche. En examinant « ces rayons après avoir interposé dans leur trajet une glace « parallèle, nous voyons que les caustiques qui limitent le foyer « s'allongent beaucoup, et qu'en même temps le champ de lumière « change d'aspect. Nous sommes en présence d'un phénomène « d'interférence. Depuis le centre où la réfraction est nulle « jusqu'à la circonférence où elle est à son maximum, les pin- « ceaux tombent sur la glace avec des incidences bien différen- « tes, en sorte qu'à leur émergence le rapport de leur sinus de « réfraction avec celui de leur incidence est changé. Ils marchent « alors moins parallèlement entre eux et interfèrent les uns avec « les autres avant d'arriver au foyer. Le résultat final est un « nouveau trouble dans l'égalité de l'éclairage que complique « encore cette circonstance, que jamais la glace qui supporte un « cliché n'est à faces parallèles.

« Il nous suffit de substituer à la glace transparente un objet « microscopique pour reconnaître l'influence de cette nouvelle « cause de perturbation.

« Des bourrelets de diffraction se formeront sur tous les con-
« tours; les détails seront vagues, les lignes épanouies, épaisses
« et multiples. »

Nous l'avouons en toute humilité, jamais nous ne nous sommes aperçu qu'en plaçant une lame de glace à surfaces parallèles sur le trajet d'un cône lumineux il se produisit un phénomène d'interférence dont le résultat était la production de lignes doublées sur les contours de l'image agrandie. Dans le télescope de **Newton**, forme encore fort usitée aujourd'hui, un miroir concave renvoie sur un prisme un cône de rayons lumineux convergents, or, ce prisme est évidemment une lame de glace à surfaces parallèles, donc il devrait y avoir production d'interférences dans l'image, par suite défaut de netteté dans celle-ci. Nous ne pensons pas qu'aucun astronome ni aucun opticien s'en soit jamais douté ni aperçu.

Nous avons maintes fois fait l'expérience de substituer au réticule formé de traits fins tracés au diamant sur une lame de glace un réticule formé de fils minces de platine tendus sur un cadre, et jamais, en employant comparativement ces deux réticules dans la chambre solaire, nous ne nous sommes aperçu du trouble que, suivant M. **Bertsch**, l'interposition de la lame de verre devrait produire sur l'image agrandie des traits.

Certes nous avons observé ces lignes multiples qui naissent autour des contours nettement terminés de l'image agrandie, mais nous prouverons plus loin, dans quelles circonstances elles prennent naissance.

Pour obvier aux défauts de la chambre solaire de Woodward, défauts que nous venons de signaler, M. **Bertsch** substitue (1860, *Bull. soc. franç. phot.*, page 67) au condensateur unique de Woodward, deux lentilles de même verre, la première o (fig. 76) convergente, la seconde B divergente,

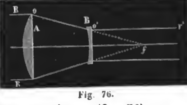


Fig. 76.

et placée à une distance telle de la première que les rayons solaires émergent du système parallèles entr'eux suivant $o'r'$ et à l'axe principal. De cette manière, dit M. **Bertsch,** les rayons solaires tomberont normalement sur le cliché à agrandir, donc plus de bourrelets de diffraction.

Qu'un tel système donne un cylindre de lumière à peu près parallèle, cela est exact, mais une section de ce cylindre est un cercle bien autrement hétérogène et inégal comme champ d'éclairage que celui pris dans le cône émergeant d'une simple lentille convergente. Car l'aberration chromatique est ici bien plus considérable que dans le système de Woodward. Nous ne pensons pas que M. **Bertsch** ait livré au commerce des appareils à deux lentilles (au moins n'en avons nous jamais connu), et nous savons qu'il a substitué à ce concentrateur double les simples rayons solaires qui éclairent le cliché normalement à sa surface. Dans ces dernières conditions l'éclairage est évidemment parfait, mais insuffisant au point de vue de l'intensité, question que nous examinerons du reste en parlant de l'appareil à lumière parallèle de M. **Bertsch.**

Observations de M. A. Thouret. — (*Bull. Soc. franç. phot.*, 1860, page 285). Sans vouloir examiner l'influence du non-achromatisme du condensateur et du passage de cette lumière convergente pc et $p'c$ (fig. 77) à travers le cliché NO, cet auteur prétend que l'image agrandie du dit cliché manquera de netteté parce que la lentille amplifiante LM n'est point limitée à sa partie centrale déterminée par le sommet c du cône pcp' de rayons solaires émané du condensateur. Mais, dit M. **Thouret,** un point quelconque a de ce cliché envoie aussi à toute la surface de la lentille LM un cône de rayons LaM, donc la lentille amplifiante agit pour grossir ce point de deux manières, la première, par le rayon solaire

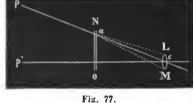


Fig. 77.

qui le traverse, la seconde, par les rayons *émis* par ce point.

A cela M. **Claudet** répond (*Bull. Soc. fr. phot.* 1861, page 7) que l'argument de M. **Thouret** aurait de la valeur si le cliché *arrêtait* la lumière solaire. Mais il est très-transparent, donc la relation entre la lumière *transmise* et celle *émise* est telle que celle-ci n'a aucune influence (par son manque d'intensité) sur la netteté de l'image, donc qu'on peut considérer la lentille amplifiante LM comme agissant par son centre. L'expérience, comme nous le verrons plus tard, prouve que M. **Claudet** avait raison.

Théorie de M. Foucault. — Voilà pour le fond les principales observations faites sur la chambre solaire. On le voit, on ne doutait pas que la vraie place de l'objectif amplifiant ne fût celle du sommet du cône de rayons convergents. Quand la discussion (qui dura plusieurs mois) fut terminée, M. **Foucault**, l'illustre physicien, prit à son tour la parole et donna de la théorie de la chambre solaire une description nette et claire que, quant à nous, nous partageons complètement. (*Bull. Soc. franç. phot.* 1861, pages 14, 15 et 16.)

« Après avoir écouté attentivement les développements communiqués par M. **Anthony Thouret**, j'ai cru remarquer que la discussion reposait tout entière sur une confusion de mots.

« La petite image qu'il convient dans l'appareil Woodward de faire tomber sur la lentille amplifiante, n'a jamais été prise, comme le suppose M. **Thouret**, pour une image du négatif à reproduire; c'est une image solaire réelle formée par la réunion de tous les rayons recueillis par le verre condenseur. Cette condition étant satisfaite, on a raison de soutenir que la lentille amplifiante fonctionne comme si elle était diaphragmée au diamètre de l'image solaire.

« Soient en effet le condenseur C (fig. 12, Pl. I), la lentille amplifiante L et l'écran E placé à une distance correspondante au foyer conjugué du plan N où l'on doit placer le cliché négatif. Dans l'appareil ainsi disposé, et en l'absence du cliché,

il est évident que la totalité de la lumière répandue sur l'écran est composée des mêmes rayons qui, au niveau de la lentille amplifiante, se groupent de manière à former une image solaire. Cette image contient donc dans sa petite étendue toute la lumière qui plus loin se dissémine à la surface de l'écran. Il en résulte que sans rien changer à l'effet, sans supprimer un seul rayon, on pourrait masquer par un diaphragme toute la zone de la lentille amplifiante qui excède l'image solaire.

» Que l'on vienne maintenant à placer un négatif dans le plan N; la glace qui le supporte ayant des faces sensiblement parallèles, la marche générale des rayons ne sera pas changée ; l'image solaire continuera de se former sur la lentille amplifiante; seulement la plupart des rayons subiront, au passage à travers les différents points du négatif, une extinction partielle et variée dont l'effet se reproduira en des points semblablement disposés sur l'écran. C'est ainsi que se forme une image amplifiée du négatif, uniquement par suite des extinctions partielles et locales qu'il détermine sans modifier aucunément la marche géométrique des rayons persistants.

» On est donc fondé à soutenir que, dans la formation de l'image amplifiée, la région de la lentille objective occupée par l'image solaire intervient seule d'une manière efficace, que la zone extérieure ne livre passage qu'à une proportion insignifiante de rayons diffusés, et que par conséquent elle ne peut imprimer par aberration de sphéricité une direction fautive aux rayons utiles.

» Est-ce à dire que pour obtenir les meilleurs résultats, il soit indispensable de recevoir le foyer du condenseur sur la lentille amplifiante ? C'est là une toute autre question. Ce qui doit seulement résulter des explications précédentes, c'est que, partout où le faisceau des rayons éclairants se constitue en une image de la source lumineuse, on peut le considérer comme passant à travers un diaphragme de même forme et de même étendue que cette image. Par cette simple considération on arrive aisément à

prévoir le rôle réservé aux diverses parties de la lentille amplifiante, soit que l'image solaire se forme au niveau, en avant ou en arrière du centre optique.

» En faisant tomber sur la lentille amplifiante le foyer des rayons solaires, on a pour résultat de n'affecter qu'une seule et même portion de cette lentille à la formation de l'image entière du négatif, ce qui en général n'est pas une condition favorable à l'égalité d'effet(1). *Sous prétexte d'éviter l'aberration de sphéricité, on tombe dans l'inconvénient plus grave qui consiste en une diminution du champ de netteté.* C'est là un défaut inhérent à la disposition revendiquée par M. Woodward et qui ne permet pas de la considérer comme une solution complète du problème de l'amplification optique.

» Il serait préférable, à mon avis, de faire tomber l'image solaire I (fig. 11, Pl. I), au-delà de la lentille amplifiante L, à condition de donner à celle-ci la forme d'un ménisque dont la concavité soit tournée vers le foyer solaire. On aurait ainsi un système qui fonctionnerait en sens inverse de l'ancienne chambre noire de ***Wollaston*** adoptée par ***Daguerre***.

» Cette disposition fondée sur l'emploi d'un verre simple doit déjà donner d'assez bons résultats ; mais on trouverait encore de nouvelles ressources dans l'emploi des verres combinés. »

Cet examen préliminaire étant posé, le lecteur se sera fait une idée sommaire de la théorie de la formation de l'image dans l'appareil de Woodward, nous allons maintenant à notre tour en examiner la théorie et en signaler les principaux défauts.

---

(1) Voyez page 104 et fig. 46.

CHAPITRE IV.

DES IMPERFECTIONS DE L'APPAREIL DE WOODWARD.

Des bourrelets de diffraction produits par le cercle d'aberration du condensateur. — Quand le condensateur de l'appareil américain n'a qu'un faible diamètre, par exemple 8 pouces, et une distance focale assez longue, par exemple 3 ou 4 fois ce diamètre, alors on peut considérer comme vrai que tous les rayons solaires émergeant de la lentille convergent vers un point unique, et qu'il se forme à son foyer une image nette du soleil. Si à présent l'angle (fig. 78), embrassé par l'objectif amplificateur M(1), est plus grand que l'angle O du cône de rayons solaires, alors tous les rayons frappant la lentille condensatrice n'éprouvent nulle part d'arrêt dans leur marche et l'amplification du cliché photographique se fait avec une admirable netteté. Mais dans toutes les chambres solaires que l'on construit actuellement cette condition n'est pas remplie, l'objectif n'embrassant pas un angle suffisant(2), et il en résulte dans l'image agrandie des *bourrelets de diffraction*, qui s'observent surtout pendant que l'on imprime l'image agrandie sur le papier sensible à la lumière : l'on voit se former autour de tous les contours nettement accusés du négatif des lignes multiples dont on retrouve la trace sur l'épreuve terminée.

Bien des personnes attribuent ces contours doublés de l'image à un déplacement du sol qui vibre sous l'influence du passage d'une voiture, ou bien au déplacement du cône de rayons solaires résultant de l'imperfection avec laquelle on tient dans une

---

(1) Nous raisonnons ici dans le cas où l'on se sert comme objectif amplificateur d'un objectif double, l'objectif simple ne donnant pas, pour cet objet, de résultats à beaucoup près aussi satisfaisants.

(2) Les deux lentilles constituant l'objectif étant trop éloignées entr'elles.

direction constante les rayons solaires réfléchis dans l'appareil. Cependant telle n'est pas la vérité, car si c'était une des pièces de l'appareil qui se dérangeait, par exemple le cliché ou le châssis qui porte le papier sensible, les lignes multiples devraient évidemment affecter tous les contours dans un sens opposé à celui du déplacement. Or, généralement vers le centre de l'image on n'aperçoit pas de bourrelets de diffraction, c'est surtout vers les bords qu'ils se produisent.

Quant à la seconde hypothèse : en apportant un soin excessif à la conduite du miroir réflecteur et même en le remplaçant par un héliostat orienté et construit avec la plus grande précision, on voit les bourrelets de diffraction se produire, donc là n'en est pas la cause.

Si l'on possède une chambre solaire quelconque, il est facile de produire *à volonté* les bourrelets de diffraction de la manière suivante. Placez au devant de l'objectif amplifiant et presqu'au contact de sa surface (qui regarde le négatif à agrandir), un diaphragme dont l'ouverture est un peu trop petite pour laisser passer les rayons solaires émanant de la lentille collectrice. L'image agrandie du négatif paraît sur l'écran très-nette, mais vient-on à imprimer cette image, au bout de peu d'instants on voit se produire les bourrelets de diffraction, surtout si le négatif offre des lignes bien tranchées, autour desquelles il se forme des lignes multiples qui détruisent toute la netteté des contours de ces parties de l'épreuve. En faisant un négatif des caractères noirs d'un livre, et en l'agrandissant, on peut surtout bien observer ces bourrelets de diffraction.

On observera encore les bourrelets de diffraction et jamais l'image agrandie d'un cliché PQ (fig. 78) bien fin, ne sera nette si les bords *rr* du cône LOL′ de rayons solaires tombe sur l'anneau en cuivre qui sert de monture à l'objectif M. L'on sait que si des rayons solaires tombent suivant l'axe sur une lentille convergente, ils convergeront tous vers le foyer *o*, qu'une section de ce cône PQ est un cercle blanc terminé par une cir-

conférence rouge qui provient du non-achromatisme de la lentille L. Si ces rayons rouges ne passent pas librement à travers l'objectif amplificateur M, s'ils tombent sur les bords de la monture comme le représente la figure, quoique ces rayons soient tout à fait inefficaces pour imprimer l'image et quoique à la vue l'image agrandie soit bien nette, il se produira, pendant que l'on imprime l'image, des lignes doubles autour des contours nettement accusés de l'image. Cette expérience nous l'avons faite plusieurs centaines de fois en pleine campagne sur un sol d'une très-grande fixité loin de tout chemin, de tout bruit, les rayons solaires étant réfléchis par un héliostat d'une précision extraordinaire sortant des célèbres ateliers d'***Ertel et fils*** de Munich et orienté avec un soin tout particulier. Et ces bourrelets ne se produisent pas du tout dans les circonstances que nous avons énumérées en commençant, et sur lesquelles nous allons nous étendre maintenant.

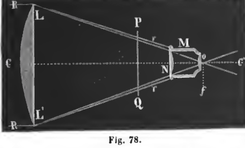


Fig. 78.

Avec l'appareil primitif de Woodward dont le condensateur plan-convexe n'a pas plus de 8 pouces de diamètre, l'on ne voit pas apparaître les bourrelets de diffraction et ce qui est fort extraordinaire c'est qu'ils apparaissent seulement alors que, pour opérer plus vite, l'on augmente le diamètre du condensateur, l'objectif amplifiant restant le même. Nous opérions en 1861 avec un condensateur de 6 pouces de diamètre, mais il fallait plusieurs heures pour produire sur papier au chlorure d'argent des amplifications de 40 cent. sur 50. En 1862, nous nous adressâmes à M. ***Sautter,*** ingénieur et directeur de la fabrique des phares de France, qui nous construisit, pour nos expériences, deux lentilles convergentes de 13 et de 20 pouces de diamètre sur

une distance focale de 2 ½ fois ce diamètre. Chose surprenante, jamais ces deux lentilles employées avec le même cliché et le même objectif amplificateur ne nous donnèrent d'épreuves agrandies à beaucoup près aussi nettes que le petit appareil primitif dont le condensateur n'avait que 6 pouces de diamètre. Notre première idée fut d'achromatiser ces lentilles par l'interposition entre le miroir réflecteur et le condensateur d'une cuvette contenant une solution de chlorure de cuivre ammoniacal, qui arrête le rouge, le jaune et l'orangé, mais les résultats ne furent point changés.

Ces expériences furent répétées un très-grand nombre de fois, ce qui nous donna bientôt la preuve évidente que les grands condensateurs n'auraient jamais eu d'emploi pour les chambres solaires et que ce n'était nullement leur défaut d'achromatisme qui était la cause du manque de netteté (lignes doublées) qu'ils apportaient dans l'image agrandie.

Une visite à MM. **Ghémar frères**, en 1864, dans leur magnifique atelier d'agrandissement de la chaussée de Charleroi, à Bruxelles, nous apporta une nouvelle preuve de la justesse de nos observations. Ces Messieurs possédaient deux appareils de M. **Wothly**, le premier avait un condensateur de 9, et le second de 24 pouces de diamètre. Relativement à la surface du condensateur, le premier était beaucoup plus rapide que le second, mais donnait souvent lieu aux bourrelets de diffraction dont le second était exempt. Un examen attentif nous fit voir que le premier appareil (dont le condensateur avait 9 pouces) envoyait à l'objectif son cône entier de rayons émergents et comme sa distance focale *était très-courte*, les bords rouges du cône venaient heurter, comme le représente la fig. 78, les bords de la monture de l'objectif qui était le système ordinaire à portraits.

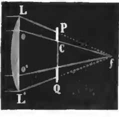


Fig. 79.

Dans le second, le porte cliché PQ (fig. 79) était percé d'une

ouverture carrée d'à peu près 18 cent. de côté et le cône L*f*L' de rayons solaires se trouvait réduit ainsi à une partie *ofo'* seulement de sa section. En d'autres termes les bords de ce porte-cliché diminuaient dans une forte proportion l'étendue du condensateur. C'était la cause du peu de puissance de l'appareil mais de l'absence des bourrelets de diffraction, puisque le cône émergent de rayons solaires traversait maintenant *librement* l'objectif amplificateur.

Un examen attentif de la plupart des appareils d'agrandissement, construits tant en France qu'en Allemagne et ailleurs, nous fit bientôt voir que généralement l'objectif amplificateur avait une distance focale trop longue et telle que le cliché était trop rapproché du condensateur, de manière à arrêter (comme le représente la fig. 79) une partie des rayons solaires émanés de ce dernier, de là le peu de puissance de tous ces appareils qui exigeaient et qui exigent encore plusieurs heures pour imprimer sur papier au chlorure d'argent une épreuve de 55 cent. de haut sur 45 de large (format feuille).

Utilise-t-on au contraire toute la surface L*f*L' (fig. 79) du condensateur en donnant à l'objectif amplificateur une distance focale plus courte et telle que le cliché est placé dans le cône de rayons convergents, de manière que le rouge qui le termine tombe sur les bords du dit objectif, alors les bourrelets de diffraction apparaissent pendant l'impression de l'épreuve, surtout si celle-ci est de grande dimension, fait provenant de ce que les bords du cône ne traversent pas librement l'objectif. Les épreuves manquent alors de ces contours nettement accusés qui font la beauté d'une épreuve, surtout d'une vue, et ces épreuves exigent le plus souvent des retouches nombreuses.

D'après ce qui précède tout lecteur intelligent aura compris ce que nous avions compris nous-même, à savoir : qu'il fallait renoncer au condensateur à courte distance focale et donner à ce condensateur LL' (fig. 80) une distance focale LM très-considérable, au moins de 5 et 6 fois son diamètre s'il a plus de

14 pouces de diamètre. Mais alors l'objectif M doit, lui aussi, avoir une grande distance focale, car le cliché P doit en être très-éloigné, si on veut l'éclairer sur toute sa surface. Dès lors l'image agrandie doit être projetée à plusieurs mètres de distance

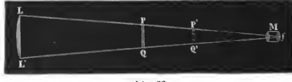


Fig. 80.

et, en employant dans de telles conditions un condensateur de 19 pouces de diamètre (50 cent.), la chambre noire qu'il faudrait pour une épreuve de 1 mètre carré serait de 12 mètres de longueur. On conçoit donc que ce système, qui en somme serait à tous égards le meilleur, ne puisse être employé dans les conditions où se trouvent la plupart des photographes.

Pour éviter cet inconvénient, vers la fin de 1863 nous avions fait faire des lentilles négatives NN' (fig. 81) qui, pla-

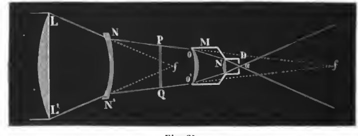


Fig. 81.

cées sur le trajet du cône LfL' de rayons solaires émanant du condensateur LL', en allongeait la distance focale f qui devenait f'. L'objectif M[1] avait un grand diamètre oo' relativement à sa distance focale, de sorte qu'il pouvait se rapprocher du

---

(1) Cet objectif avait la forme des oculaires de Ramsden des lunettes à grand champ appelées *chercheurs de comètes*.

cliché PQ de manière à en jeter l'image à une distance plus courte. Cependant cet appareil ne nous produisit aucun bon résultat. Un examen attentif nous fit voir que l'aberration *sphérique* (et non pas chromatique) du système LL', NN', était très-considérable, qu'il était impossible de limiter nettement par un diaphragme D le faisceau *a* de rayons émergents, même en achromatisant le système par la cuvette à chlorure de cuivre ammoniacal et c'est à cette époque que nous avons fait construire des systèmes de condensateurs complétement exempts de cette aberration, qui nous ont constamment fourni depuis des épreuves d'une remarquable netteté.

La cause des lignes doublées dans les chambres solaires à condensateur unique, nous paraît donc due à l'aberration de sphéricité fort considérable de ces condensateurs. Quand on pense, en effet, que ces lentilles de forme plan-convexe ont jusqu'à 30 et 36 pouces de diamètre, que leur distance focale est généralement inférieure à 2 fois leur diamètre et souvent de 1 $^1/_2$ fois seulement ce diamètre, on peut facilement se faire une idée exacte de la grande valeur du cercle d'aberration dont le diamètre croît avec le *cube* de l'ouverture (voir page 81). Que s'en suit-il, même en achromatisant artificiellement un pareil condensateur (soit par la pensée, soit par l'interposition d'une cuvette à chlorure de cuivre ammoniacal qui laisse seulement passer les rayons bleus et violets). C'est que l'objectif amplificateur, même quand on lui donne un diamètre considérable, arrête toujours une certaine partie des rayons émergents du condensateur, surtout ceux qui émergent du bord du condensateur, à cause du grand diamètre du cercle d'aberration, et même l'objectif serait-il placé là où le cercle d'aberration est le moindre, condition presque irréalisable en pratique, encore le même phénomène se produirait-il.

Au contraire avec un condensateur exempt d'aberration sphérique (par l'adjonction d'une lentille divergente dont les courbures sont convenablement appropriées), ces bourrelets de diffraction ne se reproduisent plus, les rayons émergents du condensateur

coupant tous maintenant l'axe au même point et traversant ainsi librement l'objectif amplificateur, sans se trouver arrêtés par les parois de la monture de cet objectif.

Le défaut principal de la chambre solaire telle que son inventeur la construisit d'abord provient donc, non de son défaut d'achromatisme, mais bien de ce que, en ne considérant qu'un seul ordre de rayons incidents : ceux qui impressionnent le papier au chlorure d'argent, les rayons bleus et indigos, ils coupent l'axe en des points différents, d'où résulte au foyer du condensateur une image du soleil entourée d'une auréole ronde dont le diamètre est d'autant plus grand que la distance focale du condensateur est plus courte.

On peut concevoir (mais non exécuter dans la pratique) un objectif amplificateur *simple* (achromatique cependant, autrement il aurait un foyer chimique) qui embrasserait tous les rayons émergents du condensateur, comme le représente la fig. 11, Pl. I, dessinée par M. **Léon Foucault**. Mais jusqu'ici les objectifs simples n'ont pas donné, comme objectifs amplificateurs, de bons résultats. Généralement le champ de l'image agrandie est courbe, c'est-à-dire qu'elle manque de netteté sur les bords, et de plus, la *distortion* de l'image est d'autant plus considérable que ces objectifs ont une distance focale plus courte.

Quant au système de doublet de **Petzval** (1) (objectif double ordinaire), l'angle qu'il embrasse étant plus considérable et son champ plus plat, il donne, employé dans la chambre solaire, des résultats meilleurs que l'objectif simple. Mais si on le place sur l'axe d'un condensateur dont le cercle d'aberration (sphérique) est considérable, quand bien même la première N (fig. 78) des deux lentilles (celle qui regarde le cliché à agrandir) embrasserait tous les rayons émergents du condensateur, ces mêmes rayons viendraient alors frapper en partie seulement la

(1) Le triplet de Dallmeyer, et encore davantage l'objectif globe, sont inférieurs pour cet objet.

seconde lentille o. L'expérience se fait bien aisément, et l'on voit sur la première lentille du doublet le cercle de lumière entouré de rouge et sur la seconde (celle qui regarde l'écran) l'image solaire entourée de bleu, dont une partie (celle émergeant des bords du condensateur) est arrêtée par la monture de l'objectif. Aussi cet objectif, surtout modifié comme nous le décrivons plus

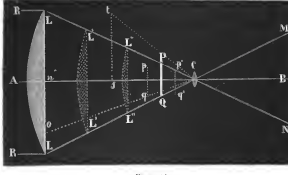


Fig. 82.

loin, ne donne-t-il des résultats satisfaisants qu'à la condition d'être associé à un condensateur dont le cercle d'aberration est d'un faible diamètre.

Pour bien comprendre comme quoi l'on ne peut pas faire plier la forme de l'objectif à la nécessité, il faut ne pas oublier que la meilleure dimension du négatif à agrandir étant donnée, il existe entre la distance du négatif PQ au centre optique C de l'objectif amplifiant, et celle de ce même point C à l'écran NM sur lequel l'image agrandie du négatif est projetée, une relation fixe (celle des foyers conjugués) qui détermine aussi le grossissement, c'est-à-dire le rapport PQ à NM des grandeurs du négatif à son image agrandie.

Éclairant ce cliché PQ par la lumière diffuse ou par la lumière solaire convergente, les distances PQ à C, et NM à C, restent invariables. A présent veut-on éclairer le cliché PQ par la lumière convergente à l'aide de condensateurs L, L' ou L'', il faut que les distances focales de ces condensateurs soient telles que l'angle du

cône PCQ reste toujours identique à lui-même, quel que soit le diamètre du condensateur.

On voit donc de suite qu'avec un petit condensateur L″ ou un très-grand L les résultats devraient être identiques comme netteté et dans le rapport de L^2 à L''^2 comme rapidité. Mais si L″ a un faible diamètre, son cercle d'aberration sera petit, et pourra dès lors être moindre que le diamètre de l'objectif amplifiant C, s'il est considérable, son cercle d'aberration qui croît comme le cube de son ouverture, devient plus grand que le diamètre de l'objectif, de là production de bourrelets de diffraction.

Il faudrait donc agrandir le diamètre de l'objectif amplifiant C tout en lui maintenant sa distance focale PC, et cela d'autant plus que le condensateur devient plus grand. Or, chacun sait que cela n'est pas réalisable en pratique et qu'il existe entre le diamètre d'un objectif et sa distance focale une relation enseignée par le calcul et l'expérience que l'opticien doit forcément observer.

S'il est impossible de faire des objectifs amplificateurs pour de grands condensateurs à courte distance focale, il est en revanche possible de faire de grands condensateurs dont les rayons émergents se trouvent tous dans la condition *pratique* et *réelle* qu'exige la figure 82. Il suffit pour cela de détruire leur cercle d'aberration sphérique en détruisant cette aberration même. Dès lors la dimension du cliché restant fixe, l'objectif qui le grossit le reste aussi, quel que soit le diamètre du condensateur.

Imperfections de l'objectif. — L'observation signalée par M. ***Thouret*** et dont nous avons parlé page 185, quoique réfutée par M. ***Claudet*** n'en est pas moins vraie dans la pratique. Certainement le négatif, s'il est d'une très-grande transparence, laisse passer à peu près toute la lumière solaire qui le traverse. Mais bien souvent ce négatif est moins transparent qu'il ne devrait l'être, et le soleil, par l'interposition de légers nuages, a souvent, surtout dans nos climats, une lumière moins forte. Alors un point donné du cliché est reproduit par l'objectif de deux manières, la première, par la lumière solaire qui le tra-

verse, la seconde, par celle qu'il émet. Plus le négatif est intense et moins la lumière solaire est vive et plus cela est vrai. Dans le premier cas, l'objectif agit par un point de sa surface et dans le second, par toute sa surface, et ces deux images ne sont ni également nettes ni concordantes, surtout sur les bords de l'image.

Toute personne qui possède une chambre solaire ordinaire peut s'en assurer facilement. Mettez au point sur l'écran un négatif bien net. Vous remarquerez, si un nuage voile le soleil, que les bords de l'image manquent de netteté (laquelle netteté s'accroît en diaphragmant l'objectif amplificateur) et que, à mesure que le soleil se dégage du nuage, la netteté sur les bords s'accroît considérablement et reste la même avec ou sans diaphragmes à l'objectif amplificateur. En interposant un verre dépoli entre le condensateur et le cliché, l'image perd de sa netteté *sur les bords*, retirant le verre dépoli, l'image non seulement devient plus claire, mais beaucoup plus nette.

Ceci démontre que l'objectif (nous parlons ici de l'objectif double ordinaire) n'agit pas dans la chambre solaire comme à l'ordinaire. Car dans la chambre solaire chaque point du négatif à agrandir peut être considéré comme traversé par un seul pinceau de lumière solaire, donc une fraction infiniment petite de l'objectif amplificateur forme l'image de ce point sur l'écran. A l'ordinaire, un point du plan à reproduire envoie à l'objectif un faisceau dont toute l'ouverture de l'objectif est la base, et le point le sommet. Dès lors, c'est tout l'objectif, ou du moins la partie de sa surface que le diaphragme laisse libre de regarder le point, qui en forme l'image. Les deux cas sont bien différents, aussi tel objectif excellent comme objectif amplificateur de chambre solaire peut-il ne rien valoir comme objectif ordinaire, et inversément(1).

La nécessité où l'on se trouve de laisser à l'objectif un diamètre aussi grand que possible pour laisser passer tous les rayons émer-

(1) C'est ainsi que le *triplet*, l'*orthoscope*, l'*objectif globe*, etc, sont tous bien inférieurs au système de **Petzval**, même à égalité d'ouverture.

geant des bords et du centre du condensateur, a pour effet, ainsi que l'ont très bien compris M. **Bertsch** et M. **Thouret**, de *voiler* l'épreuve, parce que les rayons émis par les points voisins du soleil passent à travers l'objectif comme les rayons solaires eux-mêmes. L'expérience nous a appris que dans la chambre solaire ordinaire ce défaut est fort peu important par un temps bien clair, alors que le soleil brille de tout son éclat et que le négatif à agrandir est bien transparent. Mais le ciel est-il nuageux, le soleil est-il voilé par de légers nuages, le négatif est-il un peu trop intense, les blancs de l'image agrandie sont toujours salis par la lumière diffuse que projette l'objectif. Diaphragme-t-on l'objectif, on tombe dans le défaut de la diffraction qui détruit la netteté de l'image (bien entendu avec les systèmes ordinaires de condensateurs).

C'est pour ce motif que dans la construction de la chambre solaire nous avons abandonné la forme de l'objectif double pour en adopter une autre (toujours basée sur les données de M. **Petzval**), dont M (fig. 78, p. 190) donne une représentation exacte.

Cet objectif a une forme telle que l'image du cliché éclairé par la lumière solaire ou diffuse est également nette. De plus, pour éviter la lumière diffuse dont nous venons de parler en dernier lieu et qui a pour effet de voiler l'image agrandie, la lentille *o*, en regard de l'écran est juste assez grande pour laisser passer l'image solaire et intercepte toute lumière provenant des points du ciel avoisinant cet astre.

Suspension du cliché. — La troisième imperfection de la chambre solaire de **Woodward** consiste dans la manière dont le cliché est placé dans le cône de rayons solaires. Il était fixé dans un châssis carré ou rectangulaire et traversé par les rayons solaires qui l'échauffaient d'autant plus qu'il était plus intense. Les bords du cliché restant froids, car le plus souvent la partie centrale seule du cliché était traversée par les rayons solaires, la dilatation devenait inégale et en amenait la rupture.

Cette imperfection comme les deux autres était peu importante dans la chambre solaire primitive américaine dont le condensateur n'avait que huit pouces de diamètre, de sorte que l'échauffement du cliché n'était pas considérable. Mais il en advint autrement alors que l'usage des grandes lentilles se répandit, et neuf clichés sur dix cassaient alors que le condensateur avait 19 ou 24 pouces de diamètre. M. **Delessert** qui avait une chambre solaire dont le condensateur de 80 centimètres de diamètre, cassait tous les clichés, était obligé de les tenir froids en y dirigeant un fort courant d'air produit par un ventilateur. M. **Verbecke**, de Louvain, sans connaître le remède de M. **Delessert**, le trouva de son côté et l'emploie encore, seulement il se sert d'un soufflet d'orgue au lieu d'un ventilateur.

En suspendant le cliché de manière qu'il s'échauffe également sur toute sa surface, on évite cet inconvénient. Nous décrivons ce mode de suspension dans le chapitre suivant.

CHAPITRE V.

DE L'APPAREIL DYALITIQUE (1).

Différences qu'il présente avec la chambre solaire ordinaire. — L'appareil dyalitique, nom que nous lui avons donné à cause de son analogie *de forme* avec la lunette *dyalitique*, diffère de la chambre solaire de **Woodward** par les trois points suivants :

1° Le condensateur est corrigé pour l'aberration sphérique, de sorte que, en ne considérant qu'un seul ordre de rayons incidents,

---

(1) Voyez tome X du *Bull. soc. Fr. de Phot.* « Mémoire sur un nouvel appareil dyalitique pour agrandissements photographiques. »

tous les rayons émergeant du condensateur vont couper l'axe au même point, ce qui évite les bourrelets de diffraction.

2° Le cliché est suspendu dans l'appareil d'une manière telle qu'il ne casse plus sous l'influence de la chaleur des rayons solaires.

3° L'objectif est d'une forme particulière qui convient mieux pour l'agrandissement que l'objectif simple ou l'objectif double, l'image grossie étant plus nette et exempte de voile.

Description sommaire de l'appareil dyalitique. — Le porte-miroir (figs 1, 2, 3, Pl. II) est composé d'une glace finement polie et parfaitement argentée, supportée par un cadre de fer ou de bois qui l'empêche de fléchir. Cette glace est un peu plus large que le diamètre du condensateur et 2 1/2 fois aussi longue. L'axe qui la supporte passe par son plan réfléchissant, perpendiculairement à sa longueur, de telle manière à rendre son équilibre stable. La glace peut prendre autour de cet axe toutes les positions imaginables, à l'aide d'une roue dentée assise sur son axe de rotation, laquelle roue est commandée par une vis sans fin dont la tige se rend dans le cabinet obscur dans lequel se trouve l'appareil optique. L'axe qui supporte le miroir tourne entre deux bras horizontaux attachés à un disque tournant dans un plan vertical qui reçoit aussi son mouvement de l'intérieur. Le miroir peut donc prendre par rapport au soleil toutes les positions nécessaires pour renvoyer horizontalement ses rayons réfléchis dans l'appareil optique.

Le réflecteur est fixé dans le volet d'une chambre convenablement obscurcie en regard de la chambre solaire proprement dite.

L'appareil optique (fig. 4, Pl. II) est composé d'une boîte sur le devant de laquelle est fixé le condensateur dont le diamètre est de 19, 14 ou 8 pouces suivant la puissance que l'on veut lui donner. Ce condensateur est *bi-convexe*, la face tournée vers l'intérieur est presque plane, celle tournée vers l'extérieur fortement convexe. Ses courbures sont telles que son aberration sphérique soit réduite au minimum. A une distance de cette lentille, égale à son diamètre,

se trouve une lentille concavo-convexe dont la face concave regarde le condensateur. Le diamètre de cette lentille négative est d'un peu plus de la moitié de celui du condensateur, son épaisseur est très-faible et seulement de 6 à 8 millimètres afin d'absorber le moins de lumière possible. L'effet de cette lentille est de corriger complétement l'aberration sphérique du condensateur, de sorte que le cône de rayons solaires émergeant de la lentille négative a pour sommet un seul point de l'axe.

Voici les données numériques de ce système, exprimées en fonction du demi-diamètre du condensateur, pris pour unité.

1re surface	R = 2,645	Épaisseur au centre	0,196
2e surface	R' = 21,659	Distance focale	4,0150
3e surface	R'' 1,083	Épaisseur sur les bords	0,067
4e surface	R''' 1,234		

Distance des deux lentilles	2,0075
Distance focale de l'ensemble	4,617
Indice de réfraction (bleu)	1,543

Sur le trajet du cône de rayons solaires se trouve le cliché. Ce cliché peut se mouvoir dans le sens de l'axe optique de manière à se rapprocher ou à s'éloigner du condensateur.

Au foyer du système éclairant se trouve l'*objectif amplifiant*, dont l'axe optique est commun avec celui du condensateur et de la lentille négative correctrice. Cet objectif a la forme extérieure des oculaires de **Ramsden** placés sur les lunettes à réticule, mais il est construit sur les principes du doublet de M. **Petzval**. Il est complétement exempt d'aberration sphérique suivant l'axe et de foyer chimique.

Le diamètre des deux lentilles qui le constituent est différent, la lentille la plus grande se trouvant en regard du cliché. Le but de cette différence est d'empêcher que l'objectif ne jette par diffusion sur le papier sensible une partie de la lumière provenant, non des rayons solaires directs, mais des points du ciel avoisinant le soleil. Un objectif dont les deux lentilles auraient le même diamètre, mais dont celle en regard de l'image amplifiée serait munie de diaphragmes, atteindrait le même but.

L'auteur de cet ouvrage a fait construire plusieurs de ces objectifs ayant des diamètres et des distances focales différentes, mais tous ces objectifs embrassent toujours un angle *sCl* (fig. 82, p. 196) plus grand que l'angle de divergence ACL du cône de rayons solaires émergeant du condensateur. Théoriquement, il suffirait que l'angle embrassé par l'objectif fut égal (mais dans aucun cas plus petit) à l'angle de divergence du cône de rayons solaires, mais alors l'objectif devrait être placé à demeure dans l'appareil, sinon, en l'avançant vers le condensateur les bords du cône solaire tomberaient sur les bords de l'objectif et la netteté de l'image agrandie serait troublée par la production des bourrelets de diffraction. Il en résulterait dans la pratique de grands inconvénients, parce que la place du négatif (dont la dimension est variable) dans le cône de rayons solaires est exactement déterminée par le diamètre *pq*, PQ, *p'q'* (fig. 82) de la section qui correspond à la plus grande dimension du cliché, cela afin de profiter de toute la lumière solaire émanant du système éclairant. La place du cliché ainsi déterminée, il faudrait que la distance focale de l'objectif fut juste celle nécessaire pour jeter l'image agrandie nette sur un écran dont la dimension est déterminée par la dimension des formats de papier dont on fait usage en photographie. Or, comme pas une fois sur mille cas ces conditions n'ont lieu, il faudrait rendre mobile le cliché lui-même comme le faisait **Woodward**. Et, en avançant le cliché vers le condensateur on perd toute la lumière qui tombe en dehors de sa surface, et en l'avançant vers l'objectif l'image est restreinte à la partie du négatif traversée par les rayons solaires.

L'angle de divergence de l'objectif amplifiant, sa distance focale, et la dimension du cliché doivent donc être en rapport avec l'angle de divergence du cône de rayons solaires, et, afin de permettre à l'objectif amplifiant de se mouvoir de quelques centimètres sur l'axe de l'appareil, condition indispensable pour varier sa distance au cliché, on donne à celle des lentilles qui le constituent

en regard du cliché, un diamètre beaucoup plus considérable, afin d'augmenter l'angle qu'il embrasse et d'éviter ainsi que les bords du cône solaire ne heurtent les bords de la monture.

L'angle de divergence des trois dimensions de l'appareil dyalitique déterminées par celle des condensateurs qui sont de 8, 14 et 19 pouces, étant égal pour tous les trois, de plus ayant choisi le format du négatif de 6 ½ cent. sur 9, format appelé *carte de visite*, et enfin ayant supposé que les grossissements linéaires seraient limités entre 4 et 12 fois, nous avons trouvé par le calcul confirmé par l'expérience que l'objectif qui répond le mieux pour le grossissement dans les conditious énumérées plus haut est le suivant(1) :

	Millimètres.
Diamètre des lentilles en regard du négatif	63
» » » de l'image grossie	45
Distance des deux lentilles	85
Distance focale du système(2)	150

Cet objectif est désigné par la lettre B.

Il arrive très-fréquemment que le négatif, quoique fait sur une glace de 6 ½ sur 9, est plus petit. Cela arrive surtout lorsqu'il s'agit de ne reproduire agrandie qu'une partie de ce cliché. Dès-lors on est obligé de réduire, en le coupant, ce négatif à la partie désignée. La place du négatif dans le cône de rayons solaires se rapproche alors considérablement du foyer du condensateur, de sorte que l'objectif ne peut plus être employé con-

(1) Quand le condensateur n'a que 8 pouces de diamètre, l'objectif amplifiant peut avoir un diamètre moindre, le cercle rouge qui entoure le cône de rayons solaires convergents étant moindre. Voici les dimensions adoptées pour cet objectif que nous désignerons sous la lettre A pour le distinguer des autres, que nous désignons par B, C, etc.

	Millimètres.
Diamètre des lentilles en regard du cliché	60
d° d° de l'image grossie	40
Distance des deux lentilles entr'elles	55
Distance focale du système	114

(2) Comptée sur l'axe à partir du plan focal principal au plan tangent à la lentille en regard du plan focal.

venablement. Pour cet objet, nous avons fait construire un second modèle désigné sous la lettre C, dont les deux lentilles ont le même diamètre, à savoir : 63 et 45 millimètres, mais beaucoup plus rapprochées entr'elles et dont la distance focale est seulement de 12 centimètres.

Cet objectif embrasse donc un angle encore plus considérable que l'objectif B, il pourrait donc aussi servir à grossir des clichés de 6 1/2 cent. sur 9, et il en projetterait l'image grossie à une distance beaucoup plus courte, mais moins nette sur les bords. L'objectif C convient donc spécialement à des clichés ayant au moins 4 cent. sur 5 et au maximum 5 sur 6. L'objectif B convient au contraire au grossissement de clichés ayant au moins 5 cent. sur 6 et au maximum 6 sur 8.

Enfin, s'agit-il de grossir des clichés plus grands encore, et compris entre 7 cent. sur 10 et 12 sur 15, nous avons un quatrième modèle, désigné par D, dont voici les dimensions :

	Millimètres.
Diamètre des lentilles en regard du négatif .	81
» » » de l'image grossie .	50
Distance des 2 lentilles entr'elles	110
Distance focale du système	183

S'il s'agissait de clichés à grossir plus grands encore, on pourrait aisément les faire construire sur des données analogues.

Il est clair que la place de l'objectif variant sur l'axe de l'appareil, l'étendue xx' et a (fig. 4, Pl. II) couverte par les rayons solaires est variable. Dans la position indiquée par la fig. 4, Pl. II, elle est très-petite en a et la partie centrale de cette lentille est seulement traversée par les rayons solaires. Pour éviter la lumière diffuse que les points immédiatement voisins du soleil envoient à travers la partie non centrale de cette lentille, des diaphragmes s'y appliquent. Leur diamètre varie nécessairement suivant la position de l'objectif et il faut éviter d'en placer de trop petits sinon l'image grossie aurait des bourrelets de diffraction. Généralement avec une lumière solaire bien vive ces diaphragmes

sont inutiles, mais le ciel est-il légèrement voilé, ils sont indispensables (voyez page 198).

Voilà donc la description de l'appareil dyalitique, au moins au point de vue purement scientifique. Il nous reste à faire la description de cet appareil au point de vue pratique, et elle aidera le lecteur à installer d'autres systèmes (1).

---

(1) Avant d'y commencer, qu'il nous soit permis d'insister sur quelques expériences que nous avons répétées bien des fois dans le but de nous assurer si les différents perfectionnements que nous avons apportés à la chambre solaire primitive de Woodward sont bien utiles. Nous ne nous occuperons ici que de l'introduction de la lentille correctrice négative et de l'objectif amplifiant, laissant de côté les perfectionnements mécaniques comme de moindre importance.

Une question nous a souvent été adressée, à savoir, celle-ci : Croyez-vous que la lentille négative soit bien réellement indispensable, et le collecteur ayant des courbures telles à réduire son aberration sphérique au minimum ne suffit-il pas?

Secondement, l'objectif double ordinaire tel que le construisent les bons opticiens, ne convient-il pas pour grossir l'image mieux, ou tout au moins aussi bien que l'objectif dont vous vous servez, objectif dans lequel vous augmentez démésurément le verre antérieur, circonstance qui certainement augmente l'angle embrassé par l'objectif et rend le champ plat, mais qui augmente énormément l'*astigmation* (voyez page 153).

Voici notre réponse.

Certainement qu'en substituant aux anciens condensateurs plan-convexes à courte distance focale (on s'en sert encore aujourd'hui) un condensateur d'une distance focale de trois fois son diamètre et en lui donnant des surfaces sphériques convenables, on peut jusqu'à un certain point éviter les bourrelets de diffraction dans l'image grossie, lesquels bourrelets ont pour effet de détruire la netteté de l'image (voyez page 190). Mais ceci n'est vrai qu'à la condition que le condensateur n'excède pas 8 à 10 pouces de diamètre, le cliché à grossir étant du format de la carte de visite. C'est ainsi qu'en enlevant de l'appareil dyalitique dont le condensateur a 8 pouces la lentille négative correctrice, on n'obtient pas des résultats sensiblement différents de ceux que l'on obtient avec la lentille correctrice, ce qui s'explique par le faible diamètre du cercle d'aberration transversale d'une lentille de 8 pouces ayant 16 à 20 pouces de distance focale. Mais les résultats sont bien différents si l'on se sert d'un condensateur de 14 et surtout de 19 pouces de diamètre. Si de ce dernier appareil on enlève la lentille négative, *à la vue* l'image grossie ne semble pas perdre en netteté, mais l'image étant imprimée on y aperçoit *toujours* des bourrelets de diffraction, que l'on ne voit jamais au contraire avec l'appareil alors que la lentille négative est placée, dans lequel cas les images sont d'une remarquable netteté, surtout frappante lors-

qu'on compare une série successive et croissante de grossissements. L'aspect des épreuves fait dire à ceux qui les voient, que la finesse croit avec le grossissement, ce qui est bien différent avec les chambres solaires vulgaires qui produisent toutes des résulats assez bons dans les faibles grossissements, mais tout à fait mauvais dans les forts grossissements.

Ce résultat s'explique par le cercle considérable d'aberration des grands condensateurs. Chaque fois que l'on enlève la lentille correctrice hors de l'appareil, surtout si le condensateur a 19 pouces de diamètre, on a une difficulté insurmontable de placer l'objectif de manière à ce que les parois intérieures de sa monture ne reçoivent pas de la lumière solaire, preuve évidente de la marche irrégulière des rayons solaires à travers l'objectif. Et même dans la position de l'objectif dans laquelle ce défaut est le moins apparent (celle du moindre cercle d'aberration), l'on voit les contours nettement tranchés de l'image *se doubler* pendant qu'on imprime l'épreuve.

Tout l'été de l'année 1864 nous avons possédé deux appareils identiques entr'eux, de 19 pouces, mais l'un ayant sa lentille correctrice supprimée, placés l'un à côté de l'autre et pouvant travailler simultanément. Chaque fois que nous recevions la visite d'un amateur ou d'un savant, nous faisions travailler les deux appareils sur des négatifs identiques et *toujours* l'appareil dyalitique donna des résultats plus nets. Il n'y a d'exception que lorsque le cliché manque de finesse et n'a pas de lignes bien nettement tranchées, alors il n'y a du reste pas moyen de faire une constatation régulière.

Il reste donc positivement acquis à la science que l'éclairage convergent dans les grossissements photographiques doit être exempt d'aberration sphérique, qu'autrement les lignes doubles se manifestent *toujours*, à moins que la valeur de l'aberration ne soit une minime fraction du diamètre de l'objectif, ce qui n'est le cas que si le condensateur, de courbures convenables, a moins de 10 pouces de diamètre et que sa distance focale est de plus de 2 $^1/_2$ fois ce diamètre.

Quand bien même le système du condensateur serait exempt d'aberration sphérique, n'obtiendrait-on pas constamment de bons résultats comme netteté si l'on se servait des objectifs doubles ordinaires, surtout de ceux dits dans le commerce « *quart* et *sixième.* » Nous savons parfaitement qu'en augmentant démésurément celle des lentilles du doublet de Petzval qui, employée dans les circonstances ordinaires, regarde le verre dépoli, nous conservons toute l'astigmation provenant de la position oblique des deux lentilles par rapport aux rayons incidents. Mais remarquez qu'il existe une considérable et profonde différence entre l'objectif tel que nous l'employons et tel qu'on l'emploie sur la chambre noire usuelle. Dans ce dernier cas chaque point de l'objet à reproduire envoie à l'objectif un faisceau dont l'angle est déterminé par l'ouverture de l'objectif et la distance du point rayonnant. L'astigmation naît donc de l'obliquité seulement du point rayonnant, et si la lentille du doublet en regard du verre dépoli transmet au plan focal tous les rayons émergents de la première, certes l'astigmation sera intolérable. Mais ici rien de pareil. Il faut bien, en effet, considérer que chaque point du cliché est traversé par un *rayon solaire unique* qui aboutissant à l'objectif le traverse. Donc vous pouvez impunément cacher à l'aide d'un écran opaque telle

CHAPITRE VI.

DESCRIPTION ET INSTALLATION (1) DE L'APPAREIL DYALITIQUE ET EN GÉNÉRAL DE TOUS LES APPAREILS D'AGRANDISSEMENT.

Du local destiné à l'appareil. — La première condition de l'installation convenable des appareils d'agrandissement de quelque nature qu'ils soient, est de choisir une place dont le plancher, bien solide, est autant que possible à l'abri des vibrations du sol. Si le bâtiment est solidement bâti, le passage des voitures ne compromet en rien la netteté de l'épreuve; ainsi l'auteur de cet ouvrage a vu fonctionner l'appareil dyalitique chez M. Franck de Villecholles, rue Vivienne à Paris; chez M. Alexandre Ken, au boulevard Montmartre à Paris; endroits où certes il y a un passage continuel de voitures, mais où la solidité du bâtiment préservait l'appareil des vibrations du sol.

La place où l'on opère doit être de 5 mètres de long si l'on veut opérer sur des feuilles de papier de 120 centimètres de hauteur,

---

partie de la surface de l'objectif que vous voulez sans produire aucun trouble dans les points de l'image non arrêtés par l'écran. Il suffit donc que l'objectif soit bien exempt des deux aberrations chromatique et sphérique *suivant l'axe*, et que la distance focale des pinceaux obliques soit égale à celle des pinceaux axiaux, pour que l'objectif soit parfait. Point d'aberration d'épaisseur ni d'astigmation possibles dans ce cas, et la preuve la plus évidente que nous puissions en donner c'est que l'objectif dont nous nous servons comme objectif amplifiant quoique possédant ces deux imperfections à un degré considérable si nous nous en servons pour obtenir des épreuves à la chambre noire, donne, par grossissement, des images dans lesquelles les droites sont conservées rigoureusement, et dans lesquelles pas de trace d'astigmation n'est à constater.

(1) Les planches II et III, représentent avec une grande exactitude, l'installation l'été et l'hiver de l'appareil n° 3. Elles sont dessinées à raison de 5 cent. par mètre.

dimension déjà très-considérable et suffisante pour la majorité des photographes de profession. Le plancher doit être solidifié autant que possible avant d'y fixer l'appareil, et, si ce plancher manque absolument de stabilité, faites encastrer dans le mur deux pièces de bois F et H comme le fait voir la figure 83, ayant une section de 20 cent. sur 35, sur lesquelles vous asseyerez tout l'appareil. Ces deux pièces de bois ne peuvent pas être en contact avec le plancher mais doivent s'en trouver à 3 ou 4 centimètres de distance. Dans ce cas, on peut marcher dans la place sans crain-

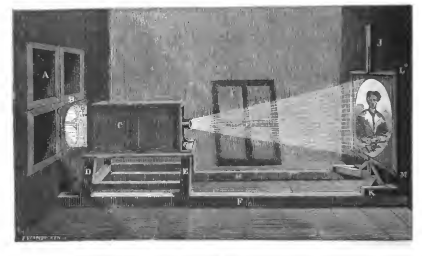


Fig. 83.

dre de faire bouger les pièces qui constituent l'appareil, autrement il faudrait s'en abstenir autant que possible.

Le mur A (fig. 83) qui est perpendiculaire à la longueur de la chambre doit regarder autant que possible le *midi* et recevoir le porte-miroir. C'est là du moins la condition la plus favorable, car on a alors le soleil toute la journée si des objets voisins ne font pas obstacle. De plus, quand l'exposition est vers le Sud-Est, l'après-dîner le miroir manque de longueur surtout en hiver, et vers le Sud-Ouest, c'est le matin. Il faut donc autant que possible

orienter le porte-miroir et l'appareil du Sud au Nord, le porte-miroir regardant le Sud.

La disposition générale de l'installation d'une chambre solaire (quel qu'en soit le système) est représentée fig. 83. A est la fenêtre blindée exposée au Midi dans laquelle se trouve inséré le porte-miroir B, vis à vis duquel se trouve la chambre solaire C sur un pied DE. L'image agrandie du négatif est projetée sur un châssis LM. Passons maintenant aux détails.

Description du porte-miroir. — Quand le miroir est de grande dimension il est bon qu'il soit monté entièrement en fer. C'est du moins ce que nous avons adopté après une longue expérience. Trois conditions doivent être remplies pour que le porte-miroir soit bien construit. Il doit offrir l'équilibre stable, de manière à résister à l'action du vent ; le centre des mouvements doit correspondre au centre de figure ou être symétrique à ce centre, afin d'exiger pour le mouvoir le moins de force mécanique possible ; et troisièmement, la glace doit être supportée par un cadre qui l'empêche de *fléchir*. Ce dernier point surtout est d'une grande importance, si l'on veut obtenir une image ronde du soleil au foyer des condensateurs au lieu d'une image allongée, ce qui est le cas si le miroir, par suite de la flexion, est courbe au lieu d'être plan. Ces conditions sont rigoureusement remplies dans le modèle de porte-miroir que nous avons adopté, et dont on a la figure planche II. fig. 1.

La glace AB est rectangulaire ou bien octogone, les coins étant coupés. Le cadre de fer sur lequel elle repose est montré séparé dans la figure 2. Ce cadre, que l'on peut aussi faire en bon bois de chêne bien sec, porte quatre lames de fer CDEF entre lesquelles se place la glace sur la surface bien dressée du cadre et empêchent ainsi la glace de glisser en bas du cadre, dans la position verticale de celui-ci.

Quatre autres arrêts, dont l'extrémité est repliée à angle droit, s'adaptent à des glaces d'une épaisseur quelconque comprise entre 5 et 10 millimètres. Ces arrêts se fixent au cadre de fer par des

vis de même métal. Les deux tiges O et N donnent au cadre une grande solidité.

La fourchette GH (fig. 2. Pl. II) est en fer de fonte et attachée à l'aide de vis au cadre, de telle façon que la partie argentée de la glace passe *exactement* par l'axe des tourillons G et H, comme le fait voir la figure. Cette fourchette offre à ses deux extrémités des tourillons G et H sur l'un H desquels est assise la roue dentée de bronze I. *Afin de bien rendre solidaires le cadre et la roue* I, *une vis fixe cette roue à la fourchette*. Cela est indispensable, sinon la roue qui, ainsi que nous le verrons tout à l'heure, reçoit son mouvement d'un pignon, pourrait tourner sans entraîner le cadre, aussi est-il bien indispensable de vérifier si cela a lieu, et si cela n'était pas, une seconde vis devrait y être adaptée.

Comme nous l'avons dit en commençant, un cadre en bois peut être substitué au cadre en fer, et, au lieu de faire agir le pignon directement sur la vis sans fin, on peut, comme le montre la figure 3, Pl. II, employer une roue de plus, de sorte que la vis sans fin *m* agit alors sur le pignon *n* qui fait tourner la grande roue o assise sur l'axe du châssis qui porte le miroir. Dans ce cas, le mouvement est plus lent, mais il faut avoir soin de fixer le cercle *o* sur le châssis B par une vis *a*, sinon le châssis B tournerait librement autour de son axe.

S U V X, figure 1, Pl. II, est un cadre de fonte tourné sur ses deux faces et présentant une grande ouverture à battée dans laquelle tourne le disque annullaire denté sur son contour ZY. Le cadre de fonte offre à ses quatre angles des trous qui peuvent servir à le fixer au volet de la chambre obscure. Les deux bras *ab*, *cd* sont fixés sur l'anneau YZ par six boulons, et ce dernier denté sur toute sa circonférence, recevant son mouvement d'un pignon à crémaillière X, entraîne aussi les deux bras aux extrémités desquels se trouvent les coussinets dans lesquels s'adaptent les tourillons du cadre à miroir, ce que la figure fait comprendre à la seule inspection.

Enfin, une tige de fer Re traverse l'anneau YZ et la base du

bras *ba*. Elle est terminée à l'intérieur de la chambre obscure par un bouton de cuivre R et à son autre extrémité par une vis sans fin *e*.

Quand le porte-miroir est entièrement monté comme le fait voir la fig. 1, Pl. I, il faut éviter le choc des extrémités du cadre de fer AB contre un corps quelconque, ce qui aurait pour effet de tordre l'extrémité qui porte la vis sans fin de la tige R*e*. Alors en tournant le bouton R, on éprouverait pour une moitié de la rotation une grande résistance et pour l'autre moitié une grande facilité. On redresse aisément l'extrémité *e* ployée de cette tige, dans la position où, tournant le bouton R, on trouve une notable résistance, en appuyant fortement mais graduellement sur la partie inférieure du cadre de fer qui porte la glace, ce qui a pour effet de ramener la torsion de la tige en sens inverse. Mais en tous cas il faut agir avec précaution, si l'on ne veut pas détériorer cette partie de l'instrument.

Les coussinets qui terminent les bras doivent être serrés, mais pas trop, afin que les tourillons sur lesquels pivotent le cadre à miroir n'éprouvent pas une trop grande résistance.

Afin d'éviter le mouvement perdu qui existe toujours entre la vis sans fin et le cercle denté I, on peut suspendre à la partie inférieure du miroir un poids de 2 à 4 kilogr., mais, dans la majorité des cas, cela n'est pas indispensable, si l'on a bien ajusté les différentes parties du porte-miroir que l'on doit évidemment entretenir comme toutes les machines, en le démontant quelquefois pour l'enduire d'huile et en ôter la rouille qui aurait pu s'y former. C'est surtout le cercle denté I qu'il faut tenir bien huilé.

La glace doit être solidement argentée et peinte en-dessous. On peut, pour plus de sûreté, coller sur la surface peinte de ces feuilles minces d'étain dont on enveloppe le chocolat, ce qui préserve encore mieux l'argenture que la peinture à l'huile qui la couvre.

Les bords de la glace doivent être recouverts de papier noir que l'on y colle avec de la pâte amidonnée, sinon il arrive fréquem-

ment que l'on voit sur l'image grandie des lignes colorées (arc-en-ciel) provenant de la dispersion des rayons solaires par les bords de la glace.

La glace elle-même doit être nettoyée tous les huit jours avec de l'alcool et un linge imbibé de tripoli, et tous les matins avec un linge sec. Dans le cours de la journée il faut souvent enlever avec une brosse à longs poils la poussière que le vent chasse sur sa surface, sinon l'impression de l'image agrandie pourrait durer un temps plus considérable.

Enfin cette glace doit être tenue à l'abri de la pluie, sinon elle se couvrirait au bout de quelques mois de taches jaunes dans l'argenture qui causeraient la dépense d'une réargenture de la glace(1).

Le maniement du porte-miroir est d'une extrême facilité. Comme le soleil s'avance d'Orient en Occident et que de plus il monte toujours depuis son lever jusqu'à midi pour redescendre alors jusqu'à son coucher, il faut aussi communiquer deux mouvements, le premier à la manivelle L (fig. 5, Pl. II) qui a pour but d'amener le côté le plus long de la glace dans le plan des rayons solaires, le second au bouton P qui donne à la glace une inclinaison convenable pour réfléchir les rayons solaires horizontalement (V*a*) et perpendiculairement à la surface du cadre KC.

On obtient ainsi un cylindre de rayons solaires réfléchis qui remplit toute l'ouverture KC. Nous verrons plus tard comment on tient les rayons solaires réfléchis dans une direction absolument constante.

Installation du porte-miroir. — L'installation du porte-miroir est d'une extrême simplicité(2). Choisissez une fenêtre AX (fig. 5. Pl. II) dans l'appartement dont la partie vitrée vienne

---

(1) Se fait très-bien à Bruxelles, chez Nyssens et Ce, miroitiers, Laeken.

(2) Elle est représentée, avec une très-grande exactitude fig. 4, Pl. II, figure qui représente *au vingtième* le porte-miroir n° 3; fig. 4, l'appareil optique; figs 6, 7 et 8, le châssis à épreuves.

aussi près du plancher que possible, et substituez au chassis vîtré une forte planche de bois de sapin de deux pouces d'épaisseur dans laquelle vous ménagez une ouverture à battée d'un centimètre dans laquelle s'insère exactement le cadre en fer de fonte du porte-miroir. Quatre petits taquets suffisent dès-lors pour le maintenir de manière qu'il ne puisse plus tomber à l'intérieur (1). A l'extérieur de cette planche placez le couvercle BF mobile autour d'une charnière J. Ce couvercle, couvert de zinc mince, doit être d'un tiers plus long que le miroir, et d'un tiers plus large, et la charnière J se trouver à quelques centimètres seulement au-dessus de la partie supérieure D de l'ouverture. Une corde GHIQ permet d'élever le couvercle de manière à ne gêner en rien le mouvement du miroir. (Voyez fig. 10. Pl. II.) Deux petites portes latérales E, E (fig. 9 et 10, Pl. II) ferment latéralement l'espace autour du porte-miroir excepté à la partie inférieure qui peut rester ouverte. Des cordes permettent d'ouvrir et de fermer ces petites portes, que la figure 9 montre fermées et la fig. 10 ouvertes.

La figure 5 montre la position du miroir SR quand les portes sont fermées, position dans laquelle la glace regarde le sol au lieu de regarder le ciel comme lorsqu'on s'en sert le jour. Cette position s'obtient en tournant la manivelle L jusqu'à ce que l'axe du miroir soit horizontal. De cette façon le porte-miroir ne doit pas être rentré pour le mettre à l'abri de la pluie. La planche AX (fig. 5, Pl. II) doit être de niveau avec le mur ZY extérieur avoisinant, à moins qu'elle ne soit aussi large que le miroir est long et qu'elle n'offre au-dessous de l'ouverture une longueur égale à la moitié de celle du miroir. Car si un obstacle se trouvait là, il pourrait arrêter le mouvement du miroir.

Une condition importante, quand on installe le porte-miroir, est de le placer aussi rapproché que possible du plancher et dans

(1) La fig. 5, Pl. II représente le porte-miroir KC inséré dans un autre cadre en bois DN, celui-ci mobile autour de charnières NO. De cette façon (voyez Pl. III) on peut incliner le porte-miroir, ce qui est indispensable l'hiver.

un plan bien vertical. Généralement, la partie inférieure C de l'ouverture doit se trouver 80 centim. du plancher X, la manivelle L se trouvant à la partie supérieure de l'ouverture (soit à droite, soit à gauche). Si, par un motif quelconque, on est obligé de le placer à plus de 80 centim. du plancher, il est préférable alors que la manivelle L se trouve à la partie inférieure C. Le cadre du porte-miroir étant carré, on peut amener à volonté la manivelle en bas ou en haut du cadre de fer et à droite ou à gauche.

Si l'appareil est placé sur poutrelles comme nous l'avons figuré page 210, alors la hauteur de la partie inférieure du cadre de fonte du porte-miroir doit se trouver à 80 centim. au-dessus de la partie supérieure des poutrelles.

Description de la chambre solaire. — Nous avons déjà décrit la chambre solaire dyalitique et la chambre solaire américaine au point de vue scientifique. Nous les décrirons maintenant au point de vue purement pratique, négligeant cependant de parler de celle de la seconde qui doit du reste être construite de la même manière, sauf que le condensateur double doit être remplacé par un condensateur simple, le porte-cliché à tiges mobiles par un porte-cliché ordinaire à battée, l'objectif amplifiant par l'objectif double ordinaire. A part cela, tout reste la même chose dans la manière de s'en servir, l'installation etc.

La figure 4, pl. II, montre en coupe la chambre solaire dyalitique. Le grand condensateur A^1B^1 est fixé sur la paroi de devant, *sa face la plus convexe étant tournée vers l'extérieur.* La lentille correctrice C^1D^1 est placée au milieu, sa face convexe étant tournée du côté de l'objectif M. Le châssis H^1I^1 en bois est mobile dans le sens de la longueur de la chambre. Pour le mouvoir, on se sert d'un bouton à crémaillière G^1, pour le fixer d'une vis qui se trouve à côté du bouton. Enfin, l'objectif M^1 est aussi placé sur une planchette mobile dans le même sens et pouvant se fixer de la même manière. L'appareil est du reste tellement simple qu'il se comprend à la seule inspection de la figure. Disons seulement que, si les châssis mobiles se meuvent avec un peu trop de difficulté,

il suffit de déplacer un peu vers l'extérieur l'une des fortes pièces de bois entre lesquelles ils glissent, pièces fixées à l'aide de vis au fond de la chambre solaire, mais néanmoins légèrement mobiles, le diamètre des vis étant moindre que celui des trous qui leur donnent passage.

Il est indispensable que l'axe soit commun à toutes les surfaces sphériques qui constituent, au nombre de 12, le système optique. Ceci est l'affaire du constructeur, mais si ce travail, d'ailleurs fort long et fort difficile, n'était pas fait avec le soin et l'attention qu'il mérite, il en résulterait une grande difficulté pour imprimer nettement l'image grossie sans que des lignes doubles n'apparaissent sur tous les contours.

La boîte $O^1P^1Q^1R^1$ qui constitue la chambre solaire est d'ordinaire fermée latéralement par des portes en bois, mais nous avons trouvé plus commode de supprimer les portes en bois du côté de la manivelle L (fig. 5). Ainsi cette manivelle se trouve-t-elle à droite de l'ouverture annullaire qui donne passage aux rayons solaires, supprimez les portes de droite de l'appareil, ce qui est plus commode, parce qu'alors on peut toujours voir dans l'intérieur de la chambre solaire, ce qui autrement ne peut se faire qu'en ouvrant les portes, ce qui est gênant.

Afin d'empêcher la lumière de pénétrer par ces portes ouvertes dans le cabinet obscur, et surtout pour ne pas fatiguer la vue, nous remplaçons ces portes par des *verres verts* qui glissent entre deux rainures MN, OP (fig. 11, même planche) placées parallèlement à la longueur de la chambre solaire en haut et en bas. (On sait que le vert n'affecte pas le papier au chlorure d'argent.)

Sur la paroi P^1Q^1 (fig. 4) de la chambre solaire, nous avons ajouté une planchette QR (voir fig. 11) percée à sa partie centrale d'un trou X carré de 16 centim. de côté. Deux petites lames de bois à rainure sont placées horizontalement au-dessus et au-dessous de cette ouverture. Un verre vert Z et un verre dépoli Y de même dimension peuvent fermer cette ouverture. Le verre vert se glisse à gauche, le vert dépoli à droite. De plus la planchette peut tout

entière se mouvoir de bas en haut entre deux rainures verticales ST, UV, à l'aide d'une corde *a* qui s'enroule autour d'une poulie placée au plafond et dont l'extrémité se rend près du porte-miroir à la portée de l'opérateur qui la manie. Ceci a pour but d'empêcher la lumière qui éclaire l'intérieur de la chambre solaire d'arriver par les intervalles qui se trouvent entre le châssis porte-objectif et les parois de la chambre solaire à l'épreuve grandie. Ce châssis RQ (fig. 11, Pl. II) doit pouvoir s'élever et s'abaisser pour pouvoir atteindre aux crémaillières. Le verre vert Z a une très-grande utilité pour arrêter le pouvoir photogénique de la lumière solaire, de manière que l'image du négatif soit visible pour l'œil sans l'être pour le papier sensible, ce dont on comprendra mieux l'utilité tout à l'heure, et enfin le verre dépoli sert à jeter un jour blanc et diffus sur l'épreuve grossie déjà imprimée, tout en arrêtant l'image du négatif sur la surface dépolie.

Tous les appareils doivent recevoir cette addition, dont nous avons reconnu la grande utilité dans la pratique. Nous avons encore fait ajouter sur le châssis qui porte l'objectif, une plaque de fer percée d'une ouverture circulaire laissant passer exactement l'objectif. Ceci afin d'éviter que le sommet du cône solaire n'enflamme cette planchette, lorsque le cône de rayons solaires vient à se déplacer hors de l'axe de l'appareil (1).

Installation de la chambre solaire. — La fig. 4, Pl. II, montre la chambre solaire placée sur un pied en regard du porte miroir. La distance qui les sépare doit être de 20 centimètres, *en couvrant l'intervalle d'un rideau noir*, excepté du côté de la manivelle. (On amène du reste toujours le bouton P

(1) Nous tenons si essentiellement à ces perfectionnements qu'à partir de ce jour nous avons donné l'ordre aux constructeurs de nos appareils d'en supprimer les portes latérales et de placer les différentes pièces dont nous venons de parler, laissant à l'acquéreur le soin de se procurer les verres verts, dont le transport sans accident de casse serait difficile.

(fig. 5) commandant la vis sans fin TU, du côté de la manivelle L, ce qui est toujours exécutable.)

La chambre solaire doit être placée horizontalement sur son pied, ce dont on s'assure avec un niveau d'eau S' placée sur sa partie supérieure, mais il faut avoir le plus grand soin que le centre de l'ouverture KC du porte miroir et le centre du condensateur A^1B^1 soient sur un même axe horizontal. *Cela se voit de suite lorsque, l'appareil étant horizontal, on réfléchit les rayons solaires sur la lentille de devant. Celle-ci doit être entièrement couverte, en même temps que la pointe a du cône de rayons solaires émergeant du condensateur, passe par l'objectif.*

Le pied de l'appareil doit être très-simple et très-solide, comme on le voit sur la figure de la page 210. Rejetez impitoyablement l'emploi de ces pieds, pouvant s'abaisser et s'élever par des crémaillières, comme manquant généralement de la stabilité nécessaire pour un appareil d'agrandissement. Tout au plus mettrez-vous à la base du pied quatre fortes vis de fer pour le caler, mais encore neuf fois sur dix l'ajustement de l'appareil peut-il se faire par un bon menuisier sans ces vis, et cela n'en vaut-il que mieux. Le pied étant d'ailleurs *bien assis sur le sol* et terminé à sa partie supérieure par une table ayant exactement la dimension de la paroi inférieure de la chambre solaire, celle-ci peut toujours recevoir le léger déplacement nécessaire pour l'ajuster définitivement, après quoi on la fixe au pied.

Le porte-clichés. — Le porte-clichés (fig. 12, Pl. II) est formé par un cadre ABCD de bois ou de métal qui s'adapte exactement dans le châssis mobile H^1I^1 (fig. 4, Pl. II) d'où il s'enlève facilement. Dans le cadre sont ménagées quatre rainures dans lesquelles glissent avec facilité (et si cela n'avait lieu vous élargiriez ces rainures avec une lime) quatre pattes échancrées à leur extrémité inférieure qui servent à tenir le cliché. Ces pattes peuvent se fixer avec des vis de pression visibles sur la figure.

La patte supérieure G présentant à la partie inférieure une petite tige sur laquelle le ressort en cuivre *im* appuie, est toujours

poussée vers le bas. Ce ressort *im* est très-faible et juste fort assez pour tenir le cliché immobile quand on enlève le châssis, les deux pattes latérales étant ouvertes. Ce ressort peut d'ailleurs agir sur des clichés de différentes dimensions, et pour cela, une vis de pression est fixée à son origine *i*. On ouvre cette vis qui rend le ressort libre, puis on place le cliché entre les deux pattes H et G en ne fixant que la patte inférieure H. On appuie alors sur le milieu du ressort avec le doigt pendant que l'on ferme la vis de pression *i*. Le ressort agit ainsi sur la tige G qu'il fait serrer le cliché. Il en résulte que si la chaleur dilate le cliché, celui-ci pousse la tige G en haut, et si cette dernière était fixe, *le cliché sauterait en pièces*. Le grand point donc pour éviter la casse des clichés sous l'influence de la forte chaleur du cône concentré de rayons solaires, est de ne pas le serrer autrement que par l'action du ressort.

Quant aux deux pattes latérales, nous ne nous en servons presque jamais. Mais cependent elles peuvent servir à maintenir le cliché dans le plan du cadre, mais il ne faut pas fixer fortement ces pattes en serrant trop les vis de pression qui les commandent, et surtout ne jamais les appuyer trop fortement contre le cliché.

Le ressort *im* pourrait être supprimé et remplacé avec avantage par un poids en plomb de 200 grammes attaché en G à la patte supérieure qui appuierait ainsi suffisamment sur le cliché pour que ce dernier soit fixé. ***M. Damry***, à Liége, emploie cette méthode et ne casse jamais un cliché.

Les clichés que l'on insère entre les pattes du porte-cliché doit être préalablement coupé à l'aide d'un bon diamant[1] et *limité exactement* à la partie à agrandir, en coupant du cliché toute partie qui ne doit pas se trouver sur l'épreuve agrandie.

---

(1) Si la coupe du cliché par le diamant n'est pas nette, il se forme souvent dans le verre une fente invisible à l'œil qui, en s'étendant sous l'influence de la chaleur développée par les rayons solaires, amène la destruction du cliché.

Les meilleurs agrandissements se font d'après des clichés du format carte de visite (voyez page 205). Voulez-vous une personne en pied, alors faites votre cliché en pied format carte, voulez-vous un buste grandeur nature, alors faites votre cliché sur une demi-plaque, de manière que le buste y occupe un espace un peu plus petit qu'une carte, juste comme les bustes à fond dégradé que l'on fait en format carte et découpez tout le reste.

Description du châssis à épreuves. — Le châssis à épreuves doit être construit de dimensions telles qu'il correspond aux formats des papiers les plus usités dans le commerce. Celui dont nous nous servons depuis quatre ans est d'une très-grande simplicité et nous permet de faire trois formats, à savoir :

La feuille photographique. . . .	45cent.	sur	59
La double feuille	59	sur	90
Le format grand aigle	80	sur	105

Nous tendons ces feuilles sur des planchettes d'un centimètre d'épaisseur, ayant les dimensions suivantes :

50	sur	60
60	sur	95
85	sur	110

La planche II, (fig. 6, 7 et 8), fait voir le châssis(1) tout monté. A^2B^2, C^2D^2 sont des montants verticaux de bois reliés par des traverses comme le montre la figure. Sur ces deux montants s'attache un cadre $F^2G^2H^2I^2$ présentant deux battées F^2G^2 et J^2M^2 (voyez aussi fig. 8) d'un centimètre de profondeur (la même chose se présentant à la partie inférieure du cadre). Dans ces battées s'introduisent les planchettes de 85 sur 110 centimètres et de 95 sur 60. Le cadre présente sur ses deux parois verticales, K^2J^2, M^2L^2, des rainures I^2V^2 qui livrent passage à des vis V^2 et X^2 à l'aide desquelles on le serre sur les montants. Le cadre peut donc monter et descendre de quelques centimètres, de manière qu'il est aisé de faire correspondre *exactement* la hauteur de l'objectif

(1) Ce châssis est représenté dans ces figures au vingtième de sa grandeur.

de la chambre solaire au-dessus du plancher à celle du milieu du châssis à ce même plancher. Cela doit être fait une fois pour toutes.

La largeur G^2F^2 du châssis étant supérieure à celle des planchettes, celles-ci peuvent glisser un peu à droite ou à gauche, ce qui est nécessaire pour ajuster exactement le papier sensible. De petits tourniquets en cuivre ou en bois permettent, cet ajustement fait, de fixer *solidement* la planchette. Enfin, dans les battées inférieures J^2M^2, L^2K^2, s'introduit une planche O^2N^2 ayant extérieurement 95 × 60 centimètres, mais offrant une ouverture $P^2Q^2S^2R^2$ à battée et recevant à son tour les planchettes format feuille (50 × 60c).

Les planchettes en bois léger qui reçoivent le papier sensibilisé ont 14 millimètres d'épaisseur, mais se terminent à leur partie supérieure et inférieure en biseau et n'ont là que 1 cent. d'épaisseur ce qui correspond à l'épaisseur de la battée du châssis. Ce biseau permet aux taquets qui servent à fixer la planchette de la serrer fortement.

La planchette du format 50 sur 60c est entièrement en bois, mais les deux autres de 60 × 95c et 85 × 110 sont formées par un cadre de bois léger assujetti sur une croix, le tout recouvert d'une feuille de papier brun d'emballage que l'on y colle mouillée afin qu'elle se tende en séchant (fig. 7. Pl. II).

Le châssis doit être accompagné de planchettes sur lesquelles on colle une feuille de papier blanc qui sert à la mise au point de l'image.

Les planchettes doivent être au nombre de 12 pour la dimension 50 sur 60c; de six pour la dimension 60 sur 95c et de six pour la dimension de 85 sur 110c et être enfermées dans une boîte à rainures en bois blanc léger peint extérieurement en noir.

Veut-on faire des dimensions plus grandes encore que 85 sur 110, on retourne le châssis et on attache sur les deux montants verticaux une très-grande planche à dessiner sur lequel on tend le papier comme il sera dit ci-après.

Les papiers sensibilisés[1], soit albuminés, soit préparés à la nitroglucose, *après qu'ils sont complètement secs,* sont tendus et attachés avec des punaises sur les châssis. Il ne faut pas attacher d'importance aux plis qui restent dans le papier, surtout quand il s'agit de portraits, et se livrer, pour les éviter, à des soins minutieux. Nous nous contentons d'ordinaire d'attacher le papier par 10 punaises, 3 en haut, 3 en bas et 2 sur les côtés. On attache d'abord le papier en haut, puis on le tend *légèrement* et on fixe les punaises dans le bas de la feuille. Puis on fixe celles des côtés. Ce travail dure à peine une minute. Les planchettes, couvertes de leur papier sensibilisé, sont mises dans la boîte à rainures, ce qui permet de les transporter aisément d'un endroit à un autre.

Veut-on se servir d'une planchette unique, par exemple dans les très-grandes dimensions, on met d'abord l'image au point sur la grande planche dont nous avons parlé, puis on glisse le *verre vert* qui intercepte le cône de lumière solaire émergeant de l'objectif, et, éclairé par cette lumière verte qui n'a aucune action sur le papier sensible tout en laissant passer l'image qui est ainsi visible sur la planche, on attache le papier à sa place convenable.

Installation du châssis à épreuves. — Le châssis à épreuves doit se mouvoir exactement dans la direction de la longueur de la chambre solaire sur deux lames de bois ou de fer. Il est indispensable que le centre de figure du châssis soit situé sur le prolongement de l'axe optique V*a* (fig. 4 et 5) de la chambre solaire. Disposez alors sous les roulettes Z^2 sur lesquelles le châssis repose deux lames de bois, ou mieux faites creuser dans le plancher deux rainures bien parallèles à la longueur de la chambre solaire, rainures dans lesquelles s'engageront les roulettes. Une vis Y^2, placée sur le devant du châssis, permet

(1) Nous ne nous arrêtons pas dans cet ouvrage sur la préparation des papiers qui est identique à celle des papiers dont on se sert pour les épreuves ordinaires

de la fixer à sa place, il suffit pour cela que la vis touche seulement le plancher.

Inutile d'ajouter qu'il faut, dans cette installation du châssis, prendre soin que le plan *cb* (fig. 8) des planchettes soit perpendiculaire à la direction des rainures, et bien vertical.

CHAPITRE VII.

DU MANIEMENT DE L'APPAREIL D'AGRANDISSEMENT.

Tout étant installé comme il a été dit précédemment, les lentilles, le miroir bien nettoyés à l'alcool avec un linge sec, la poussière enlevée, etc., tout étant, en un mot, disposé pour le travail, voici comment on fait fonctionner l'instrument. Seulement, afin de donner de la clarté à cette description, nous la diviserons encore par rapport aux diverses pièces qui constituent l'appareil.

Maniement du porte-miroir (fig. 4, 5 et 6, Pl. II). — Les rayons solaires donnant en plein sur le porte-miroir, il faut les amener à se réfléchir suivant *r r* sur le condensateur A^1B^1 et à se croiser exactement au centre *a* de l'objectif M^1 ce qui se fait très-aisément en tournant successivement la manivelle L et le bouton P qui commandent les mouvements du miroir. Un aide, constamment placé au porte-miroir doit tenir les rayons réfléchis dans cette direction. Pour cela il y a deux moyens, le premier, de ne pas quitter de l'œil la lentille xx' de l'objectif qui regarde le cliché, lentille sur les bords de laquelle on ne doit jamais voir de lumière rouge (voyez pages 191 et suivantes), le second, beaucoup plus pratique et surtout beaucoup plus exact, est le suivant.

Le cône *baC* émergent de l'objectif amplifiant M^1 va dessiner sur le châssis un cercle lumineux bordé d'un cercle rouge *bef* (fig. 6). Assurez-vous, en regardant sur la lentille *a*, que l'image

solaire y est bien au milieu, puis allez tout de suite mettre dans le cercle rouge trois punaises *g*, *f*, *e*.

L'opérateur placé au porte-miroir tient toujours le cercle rouge sur ces trois punaises, en communiquant un mouvement à la manivelle et au bouton toutes les 20 secondes, et c'est de la précision avec laquelle il conduit le miroir pour atteindre ce but que dépend en grande partie la finesse de l'image. Ceci du reste *ne doit être fait qu'après la mise au point de l'image.*

Quand on a fini le travail, il faut communiquer à la manivelle L un mouvement rapide *en sens inverse de la marche du soleil*, afin d'enlever les rayons solaires hors de l'appareil. Ou bien, doit-on continuer l'agrandissement d'autres négatifs, on glisse le verre vert entre l'objectif amplifiant et l'image grandie, on va enlever la planchette qui porte l'épreuve imprimée, on rouvre le verre vert, etc., pendant que l'opérateur conduit toujours son miroir.

Ajustement du cliché. — Vous placez d'abord le cliché découpé entre les pattes du porte-cliché ainsi qu'il a été dit page 220. Vous ne devez pas pour cela enlever le porte-cliché hors de son châssis. Ouvrez d'abord les verres verts qui ferment l'appareil, placez le cliché *renversé* entre les pattes supérieure et inférieure, *la couche de collodion regardant l'objectif amplifiant*, puis faites mouvoir, dans le cône de rayons solaires le châssis, et pour cela vous vous servez du bouton G^1 (fig. 4) qui engrène sur la crémaillière fixée sur le fond de l'appareil. Vous faites mouvoir le porte-cliché *de telle manière que le bord rouge qui termine le cercle de lumière que vous voyez sur le cliché en le regardant par derrière tombe presque sur les bords* H^1 et I^1 (fig. 4) *du cliché, mais en tous cas touche positivement ses angles.* Car plus il y a de lumière à côté du cliché et plus l'agrandissement prendra de temps. C'est précisément pourquoi vous devez couper du cliché tout ce qui ne doit pas être sur l'épreuve agrandie, ceci est de la dernière importance. Sans cela vos agrandissements se feraient en beaucoup plus de temps qu'il n'est nécessaire.

Le cliché étant donc placé, vous serrez fortement le bouton

d'arrêt de la crémaillière, les taquets, etc., *que rien ne puisse se déplacer si une voiture passe*, sans cela tous les contours sur l'épreuve agrandie seront *doublés*. Même recommandation pour l'objectif et le châssis qui porte l'épreuve agrandie.

Nous parlerons tout-à-l'heure de la mise au point. Mais disons ici qu'après la mise au point, il faut toujours retourner au cliché afin de le placer bien au milieu du cône de rayons solaires et que les lignes verticales qu'il offre tombent bien parallèlement au côté du papier sensibilisé, sinon quand l'épreuve serait terminée, il faudrait en enlever aux ciseaux une notable partie. Cela est du reste très-aisé, le cliché étant très-facile à mouvoir entre les deux pattes supérieure et inférieure. Cela fait on peut alors, mais alors seulement, amener les deux pattes latérales du porte-cliché à toucher légèrement le cliché.

Ajustement de l'objectif et du châssis. Mise au point de l'image grandie. — Si le cliché a le format de la carte de visite, l'objectif qui accompagne l'appareil dyalitique conviendra à l'agrandissement de ce cliché(1) (voyez ce que nous avons dit à ce sujet page 205).

Si le format du papier sensibilisé qui doit retenir l'image grossie du cliché a 45 cent. sur 59, glissez votre châssis à 1 mètre de l'objectif, et le double, le triple, pour des feuilles du double ou du triple de cette dimension.

Mettez au point l'image agrandie en approchant ou en éloignant l'objectif du cliché, en choisissant pour cet objet, telle partie que l'on juge la plus nette dans ce cliché. Si l'on voit que l'image grossie est plus grande que le format du papier, rapprochez le châssis de la chambre solaire, et, si cette image est plus petite éloignez-le en règlant de nouveau la mise au point par

(1) Dans nos appareils de 8 à 14 pouces de diamètre du condensateur. il n'y a qu'un seul objectif amplifiant calculé pour grossir des clichés format carte. Celui de 19 pouces possède un second objectif qui peut servir à grossir des clichés plus petits.

l'objectif, et cela jusqu'à ce que l'image bien nette ait la grandeur du papier. A ce moment rendez le châssis stable par la vis Y^2 (fig. 8). Le cercle rouge qui entoure le cône lumineux tombera alors près des bords du papier, et dans ces conditions l'impression de l'image sur le papier sensibilisé sera très-rapide.

Un point d'une grande importance est de régler la position de l'objectif de telle manière que jamais le cercle rouge qui entoure le cône solaire dans l'appareil ne tombe sur les bords x' et x de la monture de l'objectif M^1 (1), sinon (voyez page 191) on aurait des bourrelets de diffraction. Quant au diaphragme porté par l'objectif, voyez ce que nous en avons dit page 206.

Tout étant ainsi disposé, fermez bien les verres verts de l'appareil, glissez le verre vert entre l'objectif amplifiant et l'image grossie, substituez à l'écran blanc sur lequel vous avez mis au point le papier sensibilisé, ôtez le verre vert et laissez agir la lumière. En glissant de 5 en 5 minutes le verre dépoli entre l'objectif et l'image grossie vous suivez le progrès de l'image et l'arrêterez au moment voulu, qui est identique à celui de l'impression d'un positif sur papier d'après un cliché ordinaire. Interposez alors le verre vert, ôtez le papier sensibilisé, etc. N'oubliez pas que l'aide conduit toujours le miroir de manière à ce que le cercle rouge tienne sa place sur les punaises fixées sur le châssis.

---

(1) Si cela arrivait, il faudrait glisser l'objectif en arrière (du côté de l'image grossie) et jusqu'au moment où le rouge serait compris dans la surface de la lentille x', x, en mettant au point avec le cliché même que l'on serait ainsi forcé de déplacer. Mais cela n'arrive jamais si le cliché a le format carte.

CHAPITRE VIII.

INSTALLATION DE L'APPAREIL D'AGRANDISSEMENT L'HIVER.

Changements à apporter dans l'installation des pièces constituant l'appareil. — Dans nos climats du Nord la longueur du miroir réflecteur du porte-miroir devrait être de 50 fois au moins le diamètre du condensateur pour réfléchir, le 31 décembre, les rayons solaires sur toute la surface du condensateur. Avec la longueur que nous lui avons donnée, dès la fin de septembre (et jusqu'en mars) le condensateur n'est plus couvert par les rayons solaires réfléchis, aussi au lieu d'un cercle rond qui se voit sur le châssis à épreuves on n'a plus qu'un rectangle coupé par des arcs de cercle, et les côtés de ce rectangle, verticaux à midi, s'inclinent le matin et le soir. De là nécessité d'adopter l'hiver une installation spéciale et du reste très-aisée si l'on se borne aux grossissements ne dépassant pas le format de la feuille ou de la double feuille photographique (1).

Il est extrêmement facile d'approprier à l'installation d'hiver toutes les pièces que nous avons décrites précédemment et représentées Pl. II. La Pl. III montre, sur la même échelle de 5 centimètres par mètre l'installation de l'appareil l'hiver.

Commencez par incliner le porte-miroir en avant comme la planche le représente et cela de telle manière, que deux pièces triangulaires de bois ayant *exactement* les dimensions indiquées sur la figure, ferment hermétiquement les côtés latéraux ouverts. La partie supérieure du miroir est fixée avec une forte pièce de fer et fermée avec un drap noir. Sur le pied qui supportait l'appareil vous en placerez un second des dimen-

---

(1) L'adaptation de l'héliostat à l'appareil permet de travailler l'hiver comme l'été. Voyez les chapitres suivants.

sions représentées sur la figure [1] (multipliées par 20), second pied qui a pour but d'amener l'axe de l'appareil sur l'axe de l'ouverture circulaire du porte-miroir. Enfin le châssis à épreuves doit, lui aussi, être modifié, en lui ajoutant, autour de ses montants verticaux (fig. 5, Pl. III) deux tubes AD,BC de bois qui puissent monter et descendre à volonté, se fixer avec une vis N. Le porte-planchettes représenté en ABCD se fixe sur la traverse FG inclinée, de sorte que le châssis de la planche III ne diffère de celui de la planche II que par la pièce FENG dont il faut bien observer les dimensions surtout par rapport à l'*inclinaison*. Le maniement de l'appareil est identique à celui de l'appareil horizontal, seulement le châssis doit non-seulement reculer en avant ou en arrière pour la mise au point de l'image, mais de plus, il faut hausser et baisser les tubes de bois, afin d'amener le centre des planchettes sur l'axe de l'appareil optique.

CHAPITRE IX.

INSTALLATION DE L'APPAREIL DYALITIQUE MOBILE.

Description de l'appareil. — La seule inspection de la fig. 1, Pl. III, suffit pour faire comprendre au lecteur le jeu de l'appareil.

Le porte-miroir ABD est fixé à l'aide de fortes traverses sur la chambre solaire proprement dite, à la suite de laquelle se trouve un soufflet EF et un cône de bois FG terminé par un châssis-stirator GH dont le fond est blanc et qu'on peut enlever du cône. Une rainure, dans laquelle s'engage un carton bristol, permet, lorsque le papier sensibilisé se trouve dans le stirator, de soustraire le papier à l'action de la lumière. Une manivelle L

---

(1) $\pi\varphi\psi$ est un triangle rectangle dont $\pi\psi = 1^m,64$; $\pi\varphi = 1^m,74$; $\varphi\psi = 0^m,57$; que l'on dessinera d'abord sur le mur, et sur lequel on appliquera le pied supplémentaire pour voir s'il a réellement l'inclinaison voulue.

permet d'allonger ou de raccourcir le soufflet et tout l'appareil est porté sur un pied. Les autres pièces sont identiques à celles que nous avons déjà décrites.

Maniement de l'appareil. — Orientez d'abord l'appareil (1) de manière que les rayons solaires tombant sur le porte-miroir, soient réfléchis dans l'objectif amplifiant K, et pour cela servez-vous naturellement des vis de rappel placées au porte-miroir. Faites mouvoir le porte-cliché J jusqu'à sa place convenable (voyez page 225), ajustez l'objectif K (voyez page 226) en allongeant ou raccourcissant le cône EG (dont les portes s'ouvrant, permettent de voir l'image grandie projetée sur le fond blanc du stirator GH) puis la mise au point étant faite, glissez les verres verts sur l'appareil (que la figure ne représente point), fermez aussi la porte du cône FGH, maintenez constante la direction des rayons solaires réfléchis en regardant toujours l'objectif K et enlevez le stirator GH dans lequel vous mettez le papier sensibilisé.

Pour cela vous ouvrez le stirator comme un livre, passez une éponge très-légèrement mouillée sur le dos de la feuille sensibilisée, l'appliquez sur le fond du stirator, fermez ce dernier et le laissez sécher, ce qui a lieu au bout de peu de minutes. Introduisez alors le bristol qui soustrait le papier sensibilisé à l'action de la lumière et portez-le dans l'appareil.

Il est nécessaire de posséder plusieurs stirators, afin de ne pas perdre de temps, car le papier doit être sec, afin qu'il se tende comme la peau d'un tambour (quoique les plis ne déforment pas sensiblement l'image).

(1) En plaçant l'appareil en plein air, le miroir est toujours long assez, même le 21 décembre, pour couvrir complètement le condensateur de rayons solaires, ce qui n'a pas lieu avec les appareils installés à demeure (voyez p 228). Pour cela il suffit que l'axe de l'appareil fasse un angle plus ou moins grand avec le plan vertical passant par le soleil à l'heure où l'on opère. L'épreuve finie, on déplace l'appareil afin de conserver cet angle.

CHAPITRE X.

APPLICATION DE L'HÉLIOSTAT AUX APPAREILS D'AGRANDISSEMENT.

La nécessité dans laquelle on se trouve de toucher constamment aux vis de rappel du porte-miroir pour maintenir dans une direction constante les rayons solaires réfléchis, a fait chercher à beaucoup de personnes le moyen de faire cette opération à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie. Mais pour atteindre ce but, il faut que les axes des pièces qui constituent le porte-miroir tournent avec une vitesse déterminée et se trouvent dans des positions assignées par les lois qui président au mouvement de la terre autour de son axe. De tels instruments portent le nom d'***héliostats.*** Des connaissances nettes de l'astronomie et de la mécanique sont indispensables aux personnes qui veulent faire usage des héliostats, connaissances sans lesquelles on ne parvient jamais à les orienter exactement ni à les faire fonctionner avec l'exactitude dont ils sont susceptibles.

Trois modèles d'héliostats (1) conviennent pour les agrandissements photographiques, tous trois ont leurs avantanges et leurs imperfections, que nous signalons en les décrivant.

Héliostat d'August. — Imaginez un miroir monté comme le présente la figure 2, Pl. II, l'axe de rotation GH passant par le plan de la surface réfléchissante, coïncidant exactement avec l'axe de la terre, et tournant autour de cet axe avec une vitesse égale à la moitié de la vitesse angulaire du soleil autour de la terre, soit un tour complet en 12 heures, et voilà l'héliostat d'***August***, qui est nécessairement d'une exactitude très-grande à cause de sa simplicité.

---

(1) Les autres modèles ne supportent pas des miroirs de grande dimension.



Le soleil se trouvant dans le plan de l'Equateur, plan perpendiculaire à l'axe de rotation du miroir (le 21 mars par exemple), à une heure quelconque du jour, il est possible de donner au miroir une position telle que le rayon réfléchi soit horizontal et dans le plan du premier vertical, position que le rayon réfléchi gardera toute la journée.

Mais le jour suivant, le soleil s'étant rapproché du pôle d'une quantité δ, le rayon réfléchi, pour être horizontal, le sera dans un plan autre que celui du premier vertical, ou bien si le rayon réfléchi est choisi dans ce plan, il fera avec l'horizon un angle égal à δ. Donc l'appareil d'agrandissement doit être déplacé chaque jour, ce qui est fort incommode. De plus, la longueur du miroir, faible le matin, si le rayon réfléchi l'est vers l'Est, sera trop courte dès 2 ou 3 heures du soir.

Cet héliostat donc ne saurait convenir dans la pratique qu'entre les mains d'un astronome exercé et dans un pays où le soleil se montre assez pour qu'on puisse se contenter de faire fonctionner l'appareil une partie de la journée.

Héliostat de M. Léon Foucault (1). — Laissons l'inventeur décrire lui-même l'instrument : « Qu'est-ce qu'un héliostat? C'est un porte-lumière qui marche tout seul (voyez la figure). Ici le miroir qui n'a pas moins de 80 centimètres sur 40, est relié à un mécanisme qui se charge pendant toute la durée du jour de le mouvoir peu à peu, de manière à faire la part du mouvement apparent du soleil et à réfléchir dans une direction invariable la lumière qu'il nous envoie.

« Le soleil a, comme vous savez, une marche qui varie sans cesse dans les différents pays et aux différentes époques de l'année. Un héliostat complet devrait à la rigueur, comme celui que l'on doit à M. ***Silbermann,*** faire face à toutes les éventualités du problème : il devrait fonctionner sous toutes les latitudes, en toute

---

(1) *Bull. soc. franç. phot.* 1862, p. 287.

saison, et renvoyer au gré de l'opérateur le rayon réfléchi dans une direction quelconque. Je n'ai pas cru qu'il fût nécessaire de traiter la question d'une manière aussi générale. J'ai supposé que cette machine installée à poste fixe ne ferait jamais partie du matériel de voyage, et j'ai écarté la complication des latitudes variables. J'ai admis également que dans vos expériences le

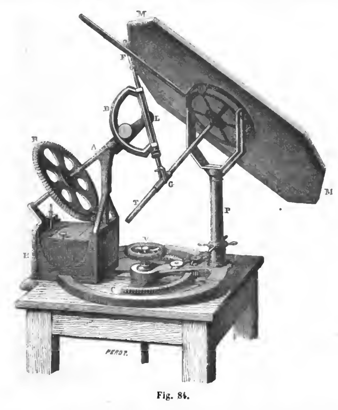


Fig. 84.

faisceau de lumière solaire garderait à peu de chose près une direction horizontale, et j'ai limité son inclinaison disponible à une petite étendue qui suffit amplement aux nécessités du centrage et à l'ajustement des appareils optiques.

« Ainsi réduit à ses éléments essentiels, l'appareil se compose d'un miroir M (voir la figure 84), libre de tous ses mouvements

autour de son centre et solidement porté sur une colonne verticale P;

« D'une horloge H réglée par l'échappement et le pendule du métronome ;

« D'un axe horaire A incliné parallèlement à l'axe du monde;

« Et d'une aiguille directrice F G, montée sur un arc de déclinaison D, et articulée avec la tige normale du miroir.

« Le premier soin pour poser l'héliostat est de caler la table au moyen du niveau et de la tourner de manière à placer l'axe horaire *à peu près* dans le plan du méridien, c'est-à-dire dans le plan vertical du soleil à midi. Ensuite on cherche sur l'arc de déclinaison la date du jour, que l'on amène et que l'on fixe en regard de l'index, et l'on met le cadran R *à peu près* à l'heure. Dans cette position approchée on voit un filet de lumière solaire qui passe à travers la pinnule montée sur le diamètre de l'arc de déclinaison et qui va former image sur la plaque opposée où deux traits gravés se coupent à angle droit. Pour donner à l'héliostat sa position exacte, il ne reste plus qu'à ramener l'image sur le point de croisement; pour cela on combine le mouvement de l'instrument tout entier sur son pivot central avec celui du cadran solaire. On met enfin l'horloge en marche et on serre la pince qui met le cadran en prise avec le rouage. On reconnaît que l'instrument a été bien posé, à ce que la petite image continue à rester sur la croisée des traits.

« Veut-on maintenant aligner son faisceau dans une direction déterminée, on fait tourner le pignon qui déplace la colonne P, et les rayons réfléchis sont obligés de suivre la direction de la ligne qui passe par le centre des mouvements du miroir et par le milieu L de l'aiguille directrice.

« On comprend aisément pourquoi le miroir a une forme allongée. Pour renvoyer horizontalement le soleil dans nos habitations il faut toujours recourir à une réflexion plus ou moins oblique; il était nécessaire de faire la part de l'inclinaison qui réduit dans une forte proportion la projection utile de la

surface réfléchissante; mais il ne suffisait pas de donner au miroir cette forme allongée, il fallait encore qu'il pût de lui-même s'orienter dans le plan de réflexion; c'est pour cela qu'il tourne sur des galets et qu'il se relie à l'aiguille directrice par une coulisse fixée parallèlement au revers du cadre.

« Toutes ces conditions qu'il fallait remplir ont été parfaitement comprises par M. **J. Dubosq**. Cette grande machine fonctionne comme un instrument de précision. En la mettant à exécution, M. **Dubosq** a trouvé l'occasion d'y apporter le perfectionnement d'un ressort dissimulé dans la colonne du miroir et qui l'aide à franchir les positions difficiles qu'on ne rencontre pas dans la pratique, mais qui n'auraient pas manqué de donner prise à la critique. C'est une amélioration que j'apprécie vivement et qui donnerait une haute idée du sens pratique de l'artiste, si nous n'avions eu déjà tant de fois l'occasion de nous faire à cet égard une opinion bien motivée. »

L'héliostat de M. **Foucault** marche avec une grande exactitude si la direction des rayons réfléchis est du Sud au Nord ou en différant peu. Autrement la moindre irrégularité de la marche de l'horloge ou de l'orientation peut causer une grande perturbation dans la direction des rayons réfléchis. Mais il est toujours aisé de placer l'appareil d'agrandissement dans la direction approximative du méridien.

L'hiver, le miroir de l'héliostat de M. **Foucault** est beaucoup trop court pour couvrir entièrement de rayons solaires réfléchis une lentille de 14 pouces de diamètre, et ce but n'est atteint que du 1er avril au 1er septembre.

Enfin, si la durée de l'opération est un peu longue, il arrive que l'image du soleil au foyer du condensateur se déplace *lentement* et l'on n'a aucun moyen de *ramener cette image* en corrigeant le miroir, ce qui force à interrompre l'opération. Il faudrait, pour rendre l'instrument tout à fait pratique, adopter à l'axe et au cercle de déclinaison deux vis de rappel à l'aide desquelles on corrigerait l'erreur sans pour cela arrêter le mouvement d'horlogerie.

Héliostat de Farenheit, modifié par M. V. Monckhoven. — Cet héliostat a sur celui de M. ***Foucault*** l'avantage d'être beaucoup plus simple et d'avoir par là une marche beaucoup plus régulière. De plus, de pouvoir servir aussi bien le 21 Décembre, époque où le soleil est le plus bas, que le 31 Juin, où il est le plus élevé, et cela dans tous les pays du monde. En

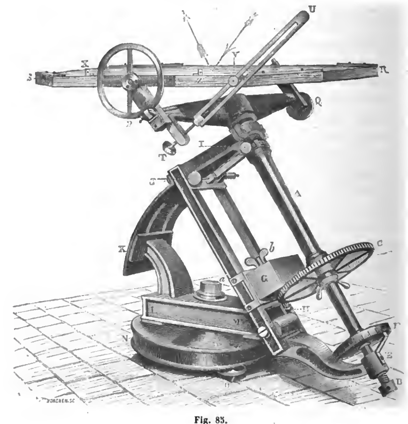


Fig. 85.

revanche, il exige que les appareils optiques soient placés dans le plan du méridien et inclinés sur l'horizon d'un angle égal à la latitude du lieu, ce qui est souvent incommode et difficile à réaliser, mais ce qui une fois réalisé, l'est pour toujours.

Voici du reste de toutes les parties qui constituent l'héliostat une description complète. Le ***plateau*** N (fig. 85) est de fer tourné et poli. Il est supporté par trois vis dont une se voit en *o* et présente au centre une partie conique autour de laquelle tourne la pièce LM que l'on rend fixe en serrant la vis *a*. Pour rendre le plateau horizontal, on applique sur sa surface supérieure un bon niveau de 13 cent. de long, dans la direction de deux vis en tournant l'une d'elles jusqu'à ce que la bulle du niveau vienne au milieu. Puis le niveau est placé perpendiculairement à la première position (en tournant pour cela la pièce LM), et à l'aide de la 3e vis on amène encore la bulle du niveau au milieu. Alors le plateau est horizontal.

Souvent les vis sur lesquelles repose le plateau sont supprimées et la pièce LM fixée au plateau N, c'est le cas des héliostats montés sur un seul pied avec l'appareil optique d'agrandissement. Alors le niveau doit être placé sur le plateau le long de la pièce LM et rendu horizontal à l'aide des vis attachées sous le pied de tout l'appareil.

Le support JKLM est en fer. L'arc JK, nécessaire pour l'ajustement *en latitude*, est mobile, mais fixé par le constructeur à la latitude pour laquelle l'instrument est demandé. Il ne faut donc jamais essayer de mouvoir cet arc JK, mais au contraire le préserver de tout déplacement(1).

A la pièce JKLM est fixée la fourchette dans laquelle tourne l'axe A et que la figure explique suffisamment.

L'axe A est d'acier, fixé à l'aide de vis à la fourchette PQ et repose sur la vis de bronze B qui sert à amener exactement les pièces à leur place convenable. Sur la vis B se trouve une contre vis qui rend la vis B bien fixe. Tenir toujours bien huilées les parties de l'axe qui touchent les coussinets.

Le ***cercle denté*** C est fixé sur l'axe par une vis dont le pas

(1) Il est facile de vérifier si l'axe A est incliné sur le plateau (rendu préalablement horizontal) d'un angle *l* égal à celui de la latitude du lieu. Pour cela, le miroir SR étant rendu horizontal, l'index P doit indiquer $90° - l$.



est *inverse* afin qu'elle ne se défasse point sous l'influence du mouvement de rotation de l'axe. Tenez du reste toujours cette vis bien fermée. La roue C est divisée en 360 dents, *et il faut la tenir propre* à l'aide d'une brosse que l'on y passe tous les jours dans le sens de la longueur des dents.

Le **cercle horaire** D, divisé de 6 heures du matin à 6 heures du soir, d'heure en heure, puis de 20 en 20 minutes et enfin en divisions de 4 minutes chacune, se fixe sur l'axe par un écrou hexagone que l'on serre à la main. L'index E légèrement mobile sert à indiquer l'heure sur le cercle horaire, il porte pour cela un trait tracé au diamant sur sa partie supérieure.

Le **collet** I s'engage dans une rainure pratiquée dans l'axe A, et peut faire corps avec l'axe en serrant la vis I ou tourner librement autour de cet axe en ouvrant la vis I qu'il faut manier avec légèreté, sans jamais la serrer trop fort. Ce collet est terminé à sa partie inférieure par une tige qu'un ressort à boudin pousse toujours vers la lettre J. Une vis J fixée sur une fourchette qui porte aussi le ressort à boudin (fourchette fixée sur la partie immobile de l'héliostat), permet donc de mouvoir le collet dans un sens ou dans l'autre (et par suite l'axe A si la vis I est fermée) de quantités fort petites. Après avoir fait souvent usage de cette partie de l'appareil, la tige qui s'engage entre la vis de rappel et le ressort peut se trouver arrêtée contre l'un des deux supports en cuivre qui les portent. Il faut alors tourner la vis J jusqu'au moment où la tige est au milieu et tourner l'axe A à la main. La tige s'amène exactement dans le sens de la vis J et du ressort par la vis B. Mais toujours cela est fait par le constructeur.

La **fourchette** PQ est de fer. D'un côté elle porte un contre-poids Q qui sert à l'équilibrer autour de l'axe A, de l'autre un index P et une vis de rappel TU dont nous parlerons tout à l'heure.

Le **miroir** XR est octogone en glace finement argentée. Il est monté dans un cadre d'ébène poli et porte à ses deux extrémités deux tourillons de bronze poli, de diamètres absolument

identiques, l'axe idéal de ces tourillons passant par le plan réfléchissant de la glace et perpendiculaire aux index XZ et à l'axe A. Ces tourillons tournent dans la fourchette PQ dans des ouvertures en forme d'Y et y sont fixées par des lames de cuivre.

Le **cercle de déclinaison** P est fixé sur l'un des tourillons et divisé en demi degrés. Le zéro de la graduation étant amené vis-à-vis de l'index, le plan du miroir est exactement perpendiculaire à l'axe A(1), ajustement fait par le constructeur, *et qu'il ne faut jamais déranger* en démontant ou en déplaçant l'index. Dans la position du cercle que montre la figure 85, c'est à la droite du zéro (fig. 1, Pl. IV) qu'il faut lire le cercle **l'hiver** (du 21 septembre au 21 mars) et à la gauche du zéro qu'il faut le lire **l'été** du 21 mars au 21 septembre.

L'index (fig. 1, Pl. IV) est formé d'une lame de cuivre mobile qui peut s'appliquer sur la division du cercle ou s'en éloigner en appuyant sur sa partie inférieure. Un simple trait tracé sur sa surface supérieure sert à indiquer la division du cercle de déclinaison, et comme on peut très-bien apprécier la moitié et même le quart de chacune d'elles, ce qui correspond à $^1/_4$ ou $^1/_8$e de degré (15 ou 7 $^1/_2$ minutes d'arc) cela suffit amplement pour l'ajustement de l'instrument. Il faut donc bien s'exercer à lire le cercle ou mieux se faire

---

(1) Voici comment se fait cet ajustement (fig. 2, Pl. IV). Le zéro du cercle étant amené vis-à-vis du trait de l'index, ce qu'il est facile de faire avec la vis de rappel T, la vis V étant fermée (fig. 85), placez la pointe d'une aiguille D (fig. 2, Pl. IV), de manière qu'elle touche le miroir à sa partie inférieure. Tournez alors doucement le miroir BC autour de son axe A de manière que la partie B vienne en regard de l'aiguille qui doit aussi *toucher* le miroir. Si cela n'est pas, corrigez la moitié de la différence par le déplacement de l'aiguille, l'autre par la vis de rappel T (fig. 85) et recommencez l'opération jusqu'à ce que le miroir tournant autour de l'axe A présente à la pointe de l'aiguille et en contact avec elle sa partie supérieure ou inférieure du miroir. Corrigez alors l'index en le déplaçant jusqu'à ce que le trait qui s'y trouve marqué coïncide exactement avec le trait O de la graduation tracée sur le cercle. Cette opération est faite avec la plus grande exactitude par le constructeur avant de livrer l'instrument, et si l'on n'a pas touché à l'index on peut être certain de sa position exacte.

aider par une personne habituée à ce genre de lectures, ce qu'il suffit de faire du reste une fois.

La **tige** UT est formée par une règle à coulisse pouvant faire corps avec le miroir en serrant la vis V. Une vis de rappel T fixée à la fourchette PQ permet, lorsque la vis V est fermée, de mouvoir le miroir de quantités fort petites.

Les **pinnulles** XZ sont deux équerres de cuivre placées latéralement sur la monture en bois du miroir et percées toutes deux d'un petit trou, de plus la pinnulle X porte sur sa surface en regard de la pinnulle opposée deux traits perpendiculaires entr'eux et tracés au diamant, l'un étant parallèle à la surface du miroir.

Quand on dirige la ligne des pinnulles XZ sur le soleil, on voit un filet de lumière solaire sortir de l'ouverture de la pinnulle Z et tomber sur celle de la pinnulle X où il se forme une image du soleil. *Quand on fait cette opération on est guidé par l'ombre de la pinnulle Z qui doit tomber parallèlement à la monture en bois du miroir.* On tient d'ailleurs la main derrière cette pinnulle X afin d'amener plus facilement l'ombre de l'autre pinnulle à tomber sur la première.

Le **mouvement d'horlogerie** G est enfermé dans une boîte en cuivre, se remonte par la clef *b*, marche 10 heures, et communique son mouvement à la roue *c* par son pignon H.

Le mouvement d'horlogerie est fixé à la partie immobile de l'héliostat par 4 vis, mais en ouvrant légèrement les 2 vis inférieures et baissant le mouvement, on désengrène le pignon H. Le pignon H peut à volonté tourner sous l'action du mouvement d'horlogerie ou en être rendu indépendant. Il suffit pour cela de tenir l'écrou H serré ou ouvert. L'ouvre-t-on, on peut tourner lentement l'axe A et l'on voit le pignon tourner rapidement. Le ferme-t-on, aussitôt le mouvement d'horlogerie agit sur le cercle denté *c*, de manière à lui faire faire un tour complet en 24 heures. Il faut toujours prêter attention de ne pas perdre l'écrou H et le pignon qui peuvent, si l'on tourne trop souvent l'axe A, se détacher. Aussi est-il bon de tenir l'écrou H

entre le pouce et l'index soit pour le tenir ouvert, soit pour le fermer. Couvrez aussi l'espace ouvert de la boîte sous la clef *b* par une lame de cuivre, afin d'empêcher la poussière d'entrer dans la boîte.

Maniement de l'héliostat. — Remonter le mouvement d'horlogerie, ouvrir les vis V, I, H, prendre le miroir de la main en R, lui donner la direction convenable dont nous parlerons plus loin, quand on y est *à peu près*, fermer les vis V et I, toucher successivement aux vis de rappel T et J, pour donner au miroir sa position exacte, puis aussitôt fermer l'écrou H et ouvrir la vis I, et le miroir obéit maintenant au mouvement d'horlogerie.

Orientation de l'héliostat. — Rendez le plateau N horizontal comme il a été dit page 237. Tenez les vis *a*, V, I et H ouvertes, après avoir remonté le mouvement d'horlogerie.

Commencez d'abord par rendre le miroir horizontal en appliquant sur sa surface le niveau dans le sens XZ, fermez la vis V, et achevez l'ajustement par la vis T. Puis y appliquant le niveau dans le sens des tourillons (perpendiculaire à XZ), fermez la vis I et achevez l'ajustement par la vis J. Recommencez les deux ajustements, sans ouvrir les vis V et I et en vous servant seulement des vis T et J.

Le miroir étant ainsi rendu bien horizontal, voyez si le trait XII du cercle horaire D se trouve bien en regard du trait marqué sur l'index E, et si cela n'est pas, déplacez l'index et le cercle D avec précaution, de manière à ce que ces deux traits soient sur le prolongement l'un de l'autre, sans que l'index E touche le cercle D, sinon il pourrait y avoir déplacement de cet index en tournant l'axe A. Ouvrez maintenant les vis V et I.

Cherchez dans le tableau placé à la fin de ce chapitre la *déclinaison* du soleil le jour où vous opérez, et, prenant le miroir de la main droite en R, communiquez lui un mouvement tel à amener *à peu près* le degré indiqué du cercle P vis-à-vis de l'index. Fermez la vis V, et tournez à la vis T jusqu'à ce que l'index marque exactement la déclinaison du soleil donnée.

Prenant à présent le miroir en R de la main, et, prenant sur votre montre ***l'heure vraie*** (1), amenez l'index E à indiquer cette heure sur le cercle D en communiquant à l'axe A un mouvement de rotation. Quand vous y êtes *à peu près*, lachez le miroir et fermez la vis I. Alors tournez tout l'instrument autour de son pivot *a* en le prenant par la vis D, sans faire bouger le plateau N, *jusqu'à ce que vous voyez le filet de rayons solaires émergeant de l'ouverture de la pinnulle Z tomber au centre de la pinnulle* X. Fermez alors la vis *a* et l'héliostat est orienté. Un moyen beaucoup plus facile pour orienter l'héliostat est indiqué page 248.

Si maintenant vous ouvrez *de suite* la vis I et fermez la vis H, vous verrez l'image solaire se tenir des heures entières immobile au centre de la pinnulle X *et l'héliostat n'est orienté exactement qu'alors que cela a lieu.* Il ne faut jamais s'en servir avant d'avoir vérifié sa marche de cette manière. On peut, l'héliostat étant

---

(1) Le *temps vrai* est le temps marqué par les cadrans solaires et non le temps marqué par les horloges ordinaires qui est le *temps moyen*. La différence entre le temps moyen et le temps vrai constitue l'*équation du temps*.

Pour bien orienter un héliostat, la connaissance *exacte* (à une minute près) de l'heure est indispensable, et généralement ce n'est pas chez les horlogers qu'il faut aller la prendre. Ils possèdent pour la plupart des horloges plus ou moins ornementées qu'ils décorent pompeusement du nom de « régulateur » mais dont ils n'ont aucun moyen de vérifier la marche, et la preuve : c'est qu'en consultant dix horlogers, tous vous donneront une heure différente. ***Il faut prendre l'heure dans un observatoire,*** et y demander *l'heure moyenne* et non *l'heure vraie* qu'il est aisé de calculer soi-même à l'aide de la table ci-après (p. 244) qui donne l'équation du temps avec une exactitude suffisante pour les années 1866 et 1867. Quand l'équation du temps est précédée du signe —, il faut faire *retarder* une montre bien réglée de la quantité de minutes et de secondes indiquée en reculant *en arrière* l'aiguille des minutes, et faire *avancer* la montre quand il y a le signe +. *Exemple.* — Le 10 janvier une montre bien réglée marque 10 heures 15 minutes. Je la fais retarder en reculant l'aiguille des minutes de 8^m, elle marque alors $10^h\ 7^m$ qui est *l'heure vraie*, celle que doit marquer le cercle horaire de l'héliostat. La montre, ainsi corrigée, continue a marquer le *temps vrai* pour le reste de la journée et même le jour suivant, quand elle marque alors midi, elle indique le *midi vrai.* Mais avant tout, nous le répétons encore, il faut prendre l'heure dans un observatoire, ce qu'il est facile de faire dans les capitales et les villes maritimes.

orienté, le plateau N, les pièces LM, KJ, JM, restant fixées, démonter et enlever toutes les autres pièces. Pour cela ouvrez les écrous qui serrent les cercles C et D, abaissez le mouvement d'horlogerie, ouvrez le collet I en enlevant les vis qui le serrent autour de l'axe, ouvrez et enlevez le demi coussinet qui tient l'axe à sa partie supérieure, et alors le miroir, la fourchette, l'axe s'enlèvent, sans que replacées, l'héliostat doive être réorienté.

Pour enlever le miroir seulement, on enlève d'abord les vis V et T, puis celles qui tiennent le miroir dans la fourchette PQ, on fait basculer l'index P en dehors, et on enlève le miroir.

DATE.	Équation du temps en minutes.	Déclinaison en degrés.	Degré du cercle.	DATE.	Équation du temps en minutes.	Déclinaison en degrés.	Degré du cercle.
Janv. 1	— 4^m	23° S.	56 1/2	Avril 1	— 4	4° 3/4 N	42 3/8
3	— 5	23 »	56 1/2	3	— 3	5 1/3 »	42 1/4
5	— 6	22 3/4 »	56 3/8	5	— 2 1/2	6 1/4 »	41 7/8
7	— 7	22 1/4 »	56 1/8	7	— 2	7 »	41 1/2
9	— 7 1/2	22 »	56	9	— 1 1/2	7 3/4 »	41 1/8
11	— 8 1/2	21 3/4 »	55 7/8	11	— 1	8 1/2 »	40 3/4
13	— 9	21 1/2 »	55 3/4	13	— 1/2	9 1/4 »	40 3/8
15	— 10	21 »	55 1/2	15	0	10 »	40
17	— 10 1/2	20 3/4 »	55 3/8	17	+ 1/2	10 1/2 »	39 3/4
19	— 11	20 1/4 »	55 1/8	19	+ 1	11 1/4 »	39 3/8
21	— 11 1/2	19 3/4 »	54 7/8	21	+ 1 1/2	12 »	39
23	— 12	19 1/2 »	54 3/4	23	+ 2	12 1/2 »	38 3/4
25	— 13	19 »	54 1/2	25	+ 2	13 1/4 »	38 3/8
27	— 13	18 1/2 »	54 1/4	27	+ 2 1/2	14 »	38
29	— 13 1/2	17 3/4 »	53 7/8	29	+ 3	14 1/2 »	37 3/4
Févr. 1	— 14	17° S.	53 1/2	Mai 1	+ 3	15° 1/4 N	37 3/8
3	— 14	16 1/2 »	53 1/4	3	+ 3 1/2	15 3/4 »	37 1/8
5	— 14	15 3/4 »	52 7/8	5	+ 3 1/2	16 1/4 »	36 7/8
7	— 14 1/2	15 1/4 »	52 3/8	7	+ 3 1/2	17 »	36 1/2
9	— 14 1/2	14 1/2 »	52 1/4	9	+ 3 3/4	17 1/2 »	36 1/4
11	— 14 1/2	13 1/2 »	51 3/4	11	+ 4	18 »	36
13	— 14 1/2	13 1/4 »	51 5/8	13	+ 4	18 1/2 »	35 3/4
15	— 14 1/2	12 1/2 »	51 1/4	15	+ 4	19 »	35 1/2
17	— 14 1/2	11 3/4 »	50 7/8	17	+ 4	19 1/2 »	35 1/4
19	— 14	11 1/4 »	50 5/8	19	+ 4	19 3/4 »	35 1/8
21	— 14	10 1/2 »	50 1/4	21	+ 3 1/2	20 1/4 »	34 7/8
23	— 13 1/2	9 3/4 »	49 7/8	23	+ 3 1/2	20 3/4 »	34 3/8
25	— 13 1/2	9 »	49 1/2	25	+ 3 1/2	21 »	34 1/2
27	— 13	8 1/4 »	49 1/8	27	+ 3	21 1/4 »	34 3/8
				29	+ 3	21 3/4 »	34 1/8
Mars 1	— 12 1/2	7° 1/2 S	48 3/4	Juin 1	+ 2 1/2	22° N.	34
3	— 12	6 3/4 »	48 3/4	3	+ 2	22 1/2 »	33 3/4
5	— 11 1/2	6 »	48	5	+ 2	22 1/2 »	33 3/4
7	— 11	5 1/4 »	47 5/8	7	+ 1 1/2	22 3/4 »	33 5/8
9	— 11	4 1/2 »	47 1/4	9	+ 1	23 »	33 1/2
11	— 10	3 1/2 »	46 3/4	11	+ 1	23 »	33 1/2
13	— 9 1/2	2 3/4 »	46 3/8	13	0	23 1/4 »	33 3/8
15	— 9	2 »	46	15	0	23 1/4 »	33 3/8
17	— 8 1/2	1 1/4 »	45 3/8	17	— 1/2	23 1/2	33 1/4
19	— 8	1/2 »	45 1/4	19	— 1	23 1/2 »	33 1/4
21	— 7 1/4	1/2 N.	44 3/4	21	— 1 1/2	23 1/2 »	33 1/4
23	— 6 1/2	1 1/4 »	44 3/8	23	— 2	23 1/2 »	33 1/4
25	— 6	2 »	44	25	— 2 1/2	23 1/2 »	33 1/4
27	— 5	2 3/4 »	43 5/8	27	— 3	23 1/4 »	33 3/8
				29	— 3 1/4	23 1/4 »	33 3/8

DATE.	Équation du temps en minutes.	Déclinaison en degrés.	Degré du cercle.
Juillet 1	— 3 1/2	23° N.	53 1/2
3	— 4	23 »	33 1/2
5	— 4 1/4	22 3/4 »	33 3/8
7	— 4 1/2	22 1/2 »	33 3/4
9	— 5	22 1/4 »	33 7/8
11	— 5	22 »	34
13	— 5 1/2	21 3/4 »	34 1/5
15	— 5 1/2	21 1/2 »	34 1/4
17	— 6	21 1/4 »	34 3/8
19	— 6	20 3/4 »	34 3/8
21	— 6	20 1/2 »	34 3/4
23	— 6	20 »	35
25	— 6	19 1/2 »	35 1/4
27	— 6	19 1/4 »	55 5/8
Août 1	— 6	18° N.	36
3	— 6	17 1/2 »	36 1/4
5	— 6	17 »	36 1/2
7	— 5 1/2	16 1/2 »	36 3/4
9	— 5 1/4	15 3/4 »	57 1/8
11	— 5	15 1/4 »	37 3/8
13	— 4 1/2	14 1/2 »	37 3/4
15	— 4	14 »	38
17	— 4	13 1/4 »	38 3/8
19	— 3 1/2	12 3/4 »	38 3/8
21	— 3	12 »	39
23	— 2 1/2	11 1/2 »	39 1/4
25	— 2	10 3/4 »	39 5/8
27	— 1	10 »	40
29	— 1	9 1/4 »	40 3/8
Sept. 1	0	8° 1/4 N.	40 7/8
3	+ 1/2	7 1/2 »	41 1/4
5	+ 1 1/2	6 3/4 »	41 1/4
7	+ 2	6 »	42
9	+ 3	5 1/4 »	42 3/8
11	+ 3 1/2	4 1/2 »	42 3/4
13	+ 4	3 3/4 »	43 1/5
15	+ 5	3 »	43 1/2
17	+ 5 1/2	2 1/4 »	45 7/8
19	+ 6 1/2	1 1/2 »	44 1/4
21	+ 7	1/2 »	44 3/4
23	+ 7 1/2	1/4 S.	45 1/8
25	+ 8 1/2	1 »	45 1/2
27	+ 9	1 3/4 »	45 7/8
29	+10	2 1/2 »	46 1/4

DATE.	Équation du temps en minutes.	Déclinaison en degrés.	Degré du cercle.
Octob. 1	+ 10 1/2	3° 1/4 S.	46 5/8
3	+ 11	4 »	47
5	+ 11 1/2	4 3/4 »	47 3/8
7	+ 12	5 1/2 »	47 3/4
9	+ 13	6 1/2 »	48 1/4
11	+ 13 1/4	7 1/4 »	48 5/8
13	+ 13 3/4	8 »	49
15	+ 14 1/4	8 1/2 »	49 1/4
17	+ 14 1/2	9 1/2 »	49 3/4
19	+ 15	10 »	50
21	+ 15 1/2	10 3/4 »	50 3/8
23	+ 15 1/2	11 1/2 »	50 3/4
25	+ 16	12 1/4 »	50 1/8
27	+ 16	13 »	51 1/2
29	+ 16	13 1/2 »	51 3/4
Nov. 1	+ 16 1/4	14° 1/2 S.	52 1/4
3	+ 16 1/2	15 1/4 »	52 5/8
5	+ 16 1/4	15 3/4 »	52 7/8
7	+ 16 1/4	16 1/2 »	53 1/4
9	+ 16	17 »	53 1/2
11	+ 16	17 1/2 »	53 3/4
13	+ 15 1/2	18 »	54
15	+ 15 1/4	18 1/2 »	54 1/4
17	+ 15	19 »	54 1/2
19	+ 14 1/2	19 1/2 »	54 5/8
21	+ 14	20 »	55
23	+ 13 1/2	20 1/2 »	55 1/4
25	+ 13	21 »	55 1/2
27	+ 12	21 1/4 »	55 3/8
Déc. 1	+ 11	22° S	56
3	+ 10	22 1/4 »	56 1/8
5	+ 9	22 1/2 »	56 1/4
7	+ 8	22 1/2 »	56 1/4
9	+ 7 1/2	23 »	56 1/2
11	+ 6 1/2	23 »	56 1/2
13	+ 5 1/2	23 »	56 1/2
15	+ 4 1/2	23 »	56 1/2
17	+ 3 1/2	23 1/2 »	56 3/4
21	+ 1 1/2	23 1/2 »	56 3/4
23	+ 1/2	23 1/2 »	56 3/4
25	— 1/2	23 1/2 »	56 3/4
27	— 1 1/2	23 1/2 »	56 3/4
29	— 2 1/2	23 1/2 »	56 3/4
51	— 3 1/2	23 »	56 1/2

CHAPITRE XI.

INSTALLATION DE L'HÉLIOSTAT AVEC L'APPAREIL D'AGRANDISSEMENT.

Trois manières d'installation de l'héliostat peuvent se réaliser :

1° La plus simple qui consiste à incliner l'appareil d'agrandissement de manière que son axe optique coïncide avec l'axe de l'héliostat.

2° La seconde qui consiste à rendre les rayons réfléchis horizontaux à l'aide d'un second miroir et cela dans une direction quelconque.

3° La troisième, à rendre les rayons solaires réfléchis horizontaux par un miroir incliné à 45° par rapport à l'axe de l'héliostat de manière à les réfléchir de l'Est à l'Ouest, ou de l'Ouest à l'Est.

Section I. — *Appareil incliné sur l'horizon.*

Description de l'appareil. — La figure 4, Pl. IV, représente très-exactement cette disposition, y compris la baraque en bois qui sert à protéger l'instrument contre la pluie.

Cet appareil doit s'installer en plein air sur une plate forme, une terrasse, un jardin, une chambre à balcon (1), mais en tout cas

(1) Voyez *à midi vrai* la direction de l'ombre de la traverse verticale de la fenêtre. Si cette ombre est à votre gauche FG mettez l'appareil à la fenêtre B ou A. Si cette ombre est à droite HI mettez l'appareil en C ou B, si cette ombre est DE perpendiculaire au mur, choisissez la fenêtre B. Mais toujours cette fenêtre doit s'ouvrir au niveau du balcon extérieur et au niveau du plancher.

Fig 86.

il faut rendre le plancher bien solide, etc. Il est composé de parties bien distinctes.

1° L'**héliostat proprement dit**. Il est en tout semblable à celui dont nous avons fait la description pages 236 et suiv. et dont la fig. 85 donne une représentation exacte, avec cette seule différence que les 3 vis du plateau sont supprimées, que ce plateau est fixé à demeure sur la base du pied AB (fig. 4, Pl. IV), *d'où il ne faut même pas essayer de l'enlever* de peur d'en déranger l'ajustement et que les pièces LM et JK (fig. 85) sont rendues fixes, car le constructeur ajuste exactement l'héliostat de manière que son axe coïncide rigoureusement avec l'axe de l'appareil optique. Pour opérer cet ajustement le constructeur enlève les lentilles de l'appareil et les remplace par des disques circulaires de métal percés à leur centre d'une ouverture concentrique de 5 cent. de diamètre. Il enlève l'axe de l'héliostat et glisse en place de cet axe un cylindre de bois de deux mètres de longueur. Il amène de cette manière l'axe de l'héliostat et les ouvertures des disques à se trouver tous le long du cylindre de bois, et cela fait, fixe à demeure toutes les pièces. Il faut donc avoir soin de ne pas les déranger. Surtout n'enlevez pas le plateau C (fig. 85) du pied auquel il est fixé, ne dérangez point la pièce LM ni l'arc JK. Vous pouvez à part cela, enlever le miroir, l'axe A, le mouvement d'horlogerie, etc. Pourvu que la partie fixe de l'héliostat reste fixée, c'est l'essentiel.

2° Le **pied** (fig. 4, Pl. IV). Le pied DECUA dont DE fait avec AB un angle juste égal à celui de la latitude du lieu pour lequel l'héliostat est construit. Il faut, une fois l'appareil placé et ajusté, le fixer fortement à l'aide de tringles de bois aux parois de la baraque et la partie AB au plancher, afin de l'empêcher d'osciller ou de se mouvoir. Deux vis dont une se voit en C servent à rendre le pied horizontal dans le sens de la longueur de l'appareil et dans un sens perpendiculaire à celui-là.

L'**appareil optique** III qui est en tout semblable à l'appareil représenté fig. 1, Pl. III, et se manie exactement de la même manière. (Voyez p. 230.)

La baraque qui couvre l'instrument est dessinée sur la figure juste *au vingtième*(1) pour l'appareil dont le condensateur a 14 pouces de diamètre et pour une latitude de 45°. Mais si la latitude *varie*, la hauteur de la baraque varie, ainsi que sa longueur. Quant à la largeur elle reste la même. Voici du reste les chiffres exacts qui se rapportent à la fig. 5, Pl. IIII.

	LV	LK	OP.
Latitude 30°	2^m,	2^m,50	3^m,
40°	2^m,	3^m,	2^m,50
50°	2^m,	3^m,25	2^m,25
60°	2^m,	3^m,50	2^m,25
OM = 0^m,80; OS = 0^m,80; RM = 1^m,50; TU = 1^m.			

Cette baraque est faite en planches d'un pouce d'épaisseur et orientée *préalablement* sur le soleil, qui, à *midi vrai*, ne doit pas faire ombre sur ses côtés les plus longs (OP, fig. 5, Pl. IV). Par devant, elle s'ouvre comme le montre la figure 5, les deux portes latérales et le couvercle étant analogues à la figure 9 de la planche II.

La porte est ménagée au fond du côté LK (fig. 4) et doit avoir 2^m à 2^m,50 de hauteur sur 1^m de large.

Orientation de l'appareil. — Rien n'est aussi facile que d'orienter l'appareil. On le place d'abord dans le sens du Sud au Nord (l'héliostat au Sud) et pour cela on se guide sur la place du soleil à midi vrai.

Placez sur le plateau N un *niveau* à côté et parallèlement à la pièce LM (fig. 85), puis, au devant de l'héliostat disposez un fil à

(1) Pour l'appareil dont le condensateur n'a que 8 pouces de diamètre, prenez les $^3/_5$ des mesures qui se rapportent à l'appareil dont le condensateur a 14 pouces de diamètre. Quant à l'appareil dont le condensateur a 19 pouces de diamètre, on ne le construit point de cette manière, à cause de la hauteur à laquelle le bâtiment atteindrait et de la difficulté qu'on aurait à le manier.

plomb, composé d'une ficelle de 2 mètres de long sur 2 mill. d'épaisseur, à laquelle vous suspendez un poids (de 1/2 kil.), plongé dans un petit baquet d'eau afin de le rendre moins mobile (1). Disposez ce fil à plomb de telle manière que sa partie inférieure se trouve à une très-petite distance de la vis B (fig. 85) de l'héliostat. A présent, réglez bien votre montre sur le temps vrai comme il a été dit page 242, et à *midi vrai précis*, mouvez tout l'instrument de droite à gauche ou de gauche à droite, de manière que l'ombre du fil divise la vis B (fig. 85) le cercle D, l'axe A, la boîte de l'appareil optique, en deux parties *bien égales*.

Une seconde personne, avec les vis qui se trouvent en C (fig. 4, Pl. IV) en arrière du pied AB, les tourne de manière à ce que le niveau placé sur le plateau N (fig. 85) contre la pièce LM indique l'horizontalité de ce plateau. Il faut commencer cette opération quelques minutes avant midi, enlever le miroir XR, opérer graduellement, et s'arrêter à midi vrai précis en recommençant le lendemain.

Cette opération, faite *avec soin*, est plus que suffisante pour orienter très-exactement l'héliostat, mais le vent peut la contrarier souvent. Ayez toujours bien soin que le fil à plomb soit le plus près possible de l'instrument, sans que cependant le baquet d'eau n'en touche le pied. Plus le fil à plomb est près et plus l'ombre s'en voit nettement.

Une seconde manière d'orienter l'héliostat est la suivante, qu'il faut faire aussi près de midi que possible.

Le point XII du cercle horaire étant réglé comme il a été dit page 241, mettez le cercle P (fig. 85) sur la déclinaison du soleil et le cercle D sur l'heure vraie. Puis aussitôt mouvez l'instrument tout entier avec son pied AB (fig. 4, Pl. IV) jusqu'à ce que vous voyez l'image solaire se former en X (fig. 85). Vous opérerez

---

(1) La fig. 6 Pl IV, représente cette disposition : AB, AC, AD sont 3 pieds (une double échelle convient aussi) EG le fil à plomb, H le baquet. Un triangle de bois A (fig. 7. Pl. IIII), attaché sur l'appareil optique B, portant le fil à plomb *ab*, convient aussi.

comme il a été dit page 241, en substituant le mouvement de l'instrument tout entier au mouvement de la seule pièce LM. Seulement tenez toujours le plateau horizontal avec les vis du pied. Il faut du reste faire l'opération plusieurs fois de suite comme il a été dit page 249, lignes 9 et suiv., et puis essayer si l'instrument est bien orienté en faisant mordre le mouvement d'horlogerie sur le cercle denté C, pour voir si les pinnulles restent toujours dans la direction du soleil, dans lequel cas l'image solaire reste immobile des heures entières au centre de la pinnulle X (voyez p. 242).

Cela fait, l'instrument est orienté à tout jamais et vous devez fixer le pied au sol par des vis, ou le couvrir de blocs de pierre pour le rendre bien fixe. Il est toujours bon de placer l'appareil sur un sol bien empierré, sur un plancher bien solide, ou un massif de maçonnerie couvert d'une grande pierre plate, etc.

Maniement de l'appareil. — Le maniement de l'appareil est exactement semblable à celui de l'appareil ordinaire dont nous avons parlé dans l'instruction page 229 et suiv. et dans l'appareil représenté fig. 1, Pl. III. Seulement disons que si l'opérateur veut agrandir des clichés sur des formats supérieurs à la feuille photographique, format que comporte l'appareil, il projettera son image sur une grande planche placée sur la partie supérieure de la baraque, dans une position convenable.

Quelle que soit l'heure et la déclinaison du soleil, dont on n'a à s'occuper que les jours où l'on oriente l'appareil, on commence par ouvrir les vis V, I et II de l'héliostat (fig. 85) et prenant le miroir en R pendant qu'on regarde le centre de l'objectif amplifiant, on dirige les rayons solaires au centre de cet objectif. Quand on y est à peu près, on ferme les vis V et I, puis avec les vis T et J on achève l'ajustement. Dès que cela a lieu on serre l'écrou II et on ouvre la vis I, et l'héliostat, obéissant au mouvement d'horlogerie, tient des heures entières l'image du soleil au centre de l'objectif amplifiant, pourvu que l'orientation ait été exacte et que l'appareil à partir de ce moment

soit resté bien en place. Mais l'image solaire vient-elle toucher le bord de l'objectif en se déplaçant lentement, rectifiez-la en ouvrant l'écrou H fermant la vis I et touchant aux vis I et J. La rectification faite, fermez l'écrou H et ouvrez la vis I. Le tout se fait en quelques secondes, sans arrêter sensiblement la marche de l'appareil. Bien entendu, avant tout, le mouvement d'horlogerie doit être remonté.

Quand on veut finir le travail, on ouvre l'écrou H, les vis I et V et l'on amène la partie S du miroir contre l'arc de cercle K, en laissant le tout dans cet état, et fermant les volets qui préservent l'héliostat de la poussière et de la pluie.

L'ouverture de la baraque qui livre passage à l'héliostat doit pouvoir se fermer à l'aide de rideaux aisément mobiles, qui sépare l'héliostat de l'intérieur de la baraque. Quand on dirige la lumière solaire réfléchie par l'héliostat dans l'appareil, on ouvre les rideaux pour voir dans l'appareil optique. Protégez le pied de l'appareil, même la partie située sous l'héliostat contre l'ardeur des rayons solaires en le couvrant de toile doublée d'ouate ou de foin.

SECTION II. — *Appareil à héliostat à deux miroirs.*

Application de l'héliostat aux appareils à porte-miroir ordinaire. — Tous les appareils d'agrandissement, tant de notre système dyalique que de l'ancien système de Woodward, peuvent recevoir l'application de l'héliostat, si au-devant du porte-miroir il y a un espace libre d'un mètre et demi dans tous les sens.

Pour bien faire comprendre comment ces appareils se placent, il faut bien se pénétrer de ce principe que l'héliostat figuré p. 236, tient ces rayons solaires réfléchis dans le sens du prolongement de l'axe A. Si maintenant un second miroir est employé à réfléchir une seconde fois les rayons dans une direction quelconque, ils seront encore rendus immobiles, puisque les premiers le sont par l'héliostat lui-même. Il y a, il est vrai, une perte d'un dixième de la

lumière par l'emploi du second miroir, mais en revanche l'on a l'avantage d'épargner un aide placé à la conduite du porte-miroir ordinaire. Ce système est employé du reste depuis le 1er janvier 1864 par M. ***Damry***, à Liége et M. ***Verbeke***, à Louvain, avec un complet succès. Leur appareil d'agrandissement est horizontal et ils emploient l'héliostat si simple et si facile à manier, représenté fig. 85. Le diamètre des condensateurs de leur appareil est de 19 pouces français.

Dans toute l'étendue de l'Europe, et surtout dans le Nord, cette manière d'installer l'héliostat est très-commode, surtout si la direction de l'appareil d'agrandissement déjà installé avant d'y appliquer l'héliostat, au lieu d'être dans le sens du Midi au Nord, fait un angle considérable (par exemple de 45°) avec cette direction et est plutôt dans le sens de l'Est à l'Ouest, ou de l'Ouest à l'Est. Un mur regardant l'Est, le Sud-Est, l'Ouest ou le Sud-Ouest est plus favorable qu'un mur orienté en plein midi. Cependant si, obéissant aux instructions qui accompagnent toujours tous les appareils d'agrandissement, l'on avait choisi l'orientation du Midi, il serait bon, préalablement aux opérations d'installation de l'héliostat que nous allons indiquer, de déranger l'appareil de cette direction, en le plaçant en travers de la chambre, suivant le Sud-Est ou le Sud-Ouest, en déplaçant aussi dans ce sens le porte-miroir. Tout cela, comme nous le verrons tantôt, afin d'éviter que l'ombre du miroir du porte-miroir ordinaire ne vienne en été couvrir une partie du miroir de l'héliostat.

Travail préalable à l'installation de l'héliostat. — La fig. 4, Pl. V donne une idée nette du travail préalable à l'installation de l'héliostat. Soit A notre porte-miroir dont le miroir est ôté et remplacé par une tige de bois dressée au tour s'engageant dans les coussinets *a* et *b* qui terminent les bras de fer. Suspendons au milieu de cette tige un fil à plomb qui touchera le sol en *c*. Suspendons un fil à plomb EF à un mètre ou deux au-devant du premier, et, à midi vrai précis, déplaçons ce fil jusqu'au moment où son ombre FC passe exactement par

le point C. Traçons sur le sol la droite CF qui sera évidemment la *direction du méridien*. Si à présent BF fait avec CF un angle égal à la latitude du lieu, il est clair que cette ligne représente *exactement* l'axe A de notre héliostat, qui lui aussi doit se trouver dans le plan du méridien en faisant avec CF un angle F égal à la latitude du lieu.

Quand la hauteur BC est de 1,50 à 2 mètres, l'héliostat s'appliquera donc aisément, parce qu'il y aura une distance suffisante entre l'héliostat et le porte-miroir.

L'opération préliminaire consiste donc à installer les fils à plomb BC et CF, de manière à obtenir la droite CF qui représente la méridienne ou ligne du sud au nord.

Application de l'héliostat. — A présent sur une caisse d'emballage ou un pied provisoire en bois de quelques centimètres de hauteur, installez l'héliostat de manière que l'axe A (fig. 85) se projette sur la droite CF et orientez-le à l'aide du soleil exactement comme nous l'avons dit page 247 et suiv. Quand l'héliostat est bien orienté et *en pleine marche*, ouvrez délicatement la vis V, abaissez la partie R du miroir jusqu'au moment où le cercle P indique le nombre de degrés et parties de degré indiqué en regard de la date du jour où l'on opère dans la troisième colonne(1) du tableau donné page 244. Fermez alors la vis V et faites bien l'ajustement du cercle à l'aide de la vis T.

Les rayons solaires sont à présent réfléchis dans le sens de l'axe de l'héliostat, et si l'instrument se trouve installé à une place convenable, par exemple si l'axe de l'héliostat coïncide avec la droite idéale BF, l'on verra tous les rayons réfléchis par le miroir de l'héliostat tomber en B. Pour voir cela mieux, collez un papier blanc sur toute la surface du miroir de l'héliostat, excepté au centre où vous laissez un espace circulaire ouvert de 5 cent. de diamètre. (Le centre du miroir est le point qui divise en deux droites d'égale longueur la droite qui joint les deux tourillons).

---

(1) Cette colonne a pour titre « *Degré du Cercle.* »

En opérant avec un miroir ainsi couvert vous verrez l'image solaire réfléchie en interposant sur le trajet du rayon réfléchi, aux environs du porte-miroir A, un carton blanc. Cette image solaire doit tomber exactement au point B et si cela n'a pas lieu, il faut chercher en déplaçant l'héliostat et en le réorientant jusqu'à ce que cela ait lieu à quelques centimètres près. Alors substituez au pied provisoire un petit massif de maçonnerie assis sur le sol terminé par une surface de pierre bien unie et bien horizontale d'environ un mètre carré, asseyez là-dessus votre héliostat, recommencez l'orientation, placez le miroir dans le porte-miroir horizontal, faites réfléchir les rayons solaires déjà réfléchis par l'héliostat dans l'appareil d'agrandissement et voyez si le condensateur de cet appareil est bien couvert par la lumière solaire, sinon vous verriez que votre héliostat ne renvoie pas encore convenablement la lumière solaire.

Il existe un moyen simple et facile de déplacer votre héliostat de manière à ce que les rayons réfléchis le soient dans une direction tout à fait convenable.

Faites faire une petite règle AB (fig. 5. Pl. IV) plate de bois de 15 cent. de longueur terminée par deux pinnulles analogues à celles placées sur la paroi XY (fig. 85) du miroir, et fixez par une vis C cette règle sur le côté du miroir. Quand vous avez fait la lecture de la 3e colonne du tableau de la page 244, et abaissé le miroir jusqu'au moment où le cercle P indique ce nombre de degrés, qu'en un mot les rayons solaires sont réfléchis sur le porte-miroir, faites délicatement pivoter la règle AB autour de son centre C, jusqu'au moment où les rayons solaires entrant par la pinnulle B vont former une image ronde sur la pinnulle A, image dont vous marquez la place par une pointe métallique. Si l'héliostat est en mouvement et bien orienté, l'image solaire se tiendra immobile sur la pinnulle A, en même temps que l'image du soleil au foyer du condensateur de l'appareil d'agrandissement. A présent si ce condensateur n'est pas bien couvert par la lumière solaire c'est qu'une partie de la lumière réfléchie par l'héliostat tombe à côté

du porte miroir. Vous pouvez à présent déplacer votre héliostat sans le désorienter en observant pendant le déplacement que l'image solaire tombe toujours à sa même place sur la pinnulle A. Vous pourriez ainsi déplacer l'héliostat où vous voudriez, à la condition que le miroir se meuve sous l'influence du mouvement d'horlogerie.

Une fois l'héliostat bien placé, laissez le porte-miroir bien immobile et, si le rayon réfléchi ne se tient pas bien immobile rectifiez-le exactement comme il a été dit page 251, lignes 1 et suivantes. Mais il se tiendra immobile si l'on s'est servi pour l'orienter de l'heure bien exacte et si l'on a lu avec soin le cercle de déclinaison.

Une fois l'appareil placé, on l'abrite de la pluie en le couvrant par une petite caisse de bois que chacun construira à son goût.

Pour se servir désormais de l'appareil il suffit de diriger les rayons solaires dans l'appareil d'agrandissement exactement comme nous l'avons dit page 250.

La fig. 5 (Pl. V)(1), représente la disposition la plus favorable de l'installation de cet appareil alors que, manquant de l'espace nécessaire sous le porte-miroir, on est obligé d'élever une baraque en bois sur une terrasse ou dans un jardin. Dans ce cas on oriente l'appareil optique suivant la ligne CD (Est-Ouest) et l'on place l'héliostat A sur un coin du bâtiment. La longueur CD du bâtiment est de 5 mètres, sa largeur de 2, la hauteur FG du plancher au-dessus du sol de 1 $^1/_2$ mètre.

Section III. — *Autre disposition de l'appareil à héliostat à deux miroirs.*

Description de l'appareil. — Cet appareil, représenté fig. 8 Pl. IV est au fond exactement semblable au précédent, avec

---

(1) Seulement le dessinateur a mal placé l'héliostat A, qui doit se trouver en avant du pilier I et non en arrière.

cette différence que le second miroir, au lieu de se trouver entre l'héliostat et le condensateur se trouve derrière le condensateur même. Il est plus facile à orienter mais exige un bâtiment, sinon fait exprès, au moins qui s'y prête, comme une chambre à balcon (1), etc.

Il ressemble du reste exactement à l'appareil décrit pages 246 et suivantes, et s'oriente de la même manière, aussi le lecteur, après avoir pris connaissance de la description détaillée de l'héliostat que nous avons faite pages 236 et suiv., doit aussi prendre connaissance des pages 246 et suiv. car nous passerons rapidement sur les détails de l'installation de cet appareil.

Voici la description de l'appareil (fig. 8 Pl. IV) :

L'héliostat est exactement semblable à celui dont nous avons fait la description pages 236 et suiv. (fig. 85) sauf que les trois vis du plateau y sont supprimées, de même le mouvement de la pièce ML autour de la vis *a*, et celui de l'arc KJ. Cet héliostat est donc fixé à demeure sur un pied de fer de fonte QR (fig. 8, Pl. IV) qui porte à ses extrémités R deux vis de rappel qui servent à rendre le plateau de l'héliostat horizontal, exactement comme dans l'appareil décrit pages 246 et suiv. Le pied S également fixé à demeure sur la base de fer QR, porte une boîte cubique CEG de bois de chêne très-épais. Dans cette boîte se trouve la lentille condensatrice H dont l'axe coïncide rigoureusement avec celui de l'héliostat. La paroi de bois placée vis-à-vis offre un trou circulaire de 5 cent. de diamètre qui coïncide aussi avec cet axe et qui sert à ajuster bien exactement l'appareil. Voici comment le constructeur s'y prend pour cet objet. Il fixe l'héliostat sur le pied de fonte, rend le plateau bien horizontal, fait en sorte que l'axe de l'héliostat fasse *exactement* avec le plateau un angle égal à la

---

(1) Dans l'hypothèse de la chambre fig. 86, l'appareil se placera à la fenêtre C si l'ombre des montants verticaux de la fenêtre est à *midi vrai* suivant HI ; à la fenêtre A si cette ombre est FG, mais alors il faut prévenir le constructeur de transporter la boîte KO (fig. 8, Pl. IV) sur la paroi opposée, et de changer suivant CE au lieu de BD la position du miroir réflecteur.

latitude du lieu pour lequel l'héliostat est destiné, puis fixe les pièces ML et KJ (fig. 85) avec de fortes vis inamovibles. Ensuite il enlève l'axe A de l'héliostat, le remplace par un cylindre de bois très-exactement dressé au tour et de 2 mètres de long, puis, enlevant la glace IJ, et remplaçant le condensateur par un carton circulaire percé au centre d'une ouverture également circulaire, il ne fixe le pied S (fig. 8, Pl. IV) sur la base de fonte que lorsque les deux ouvertures (celle du carton et celle percée sur la paroi située vis-à-vis), sont exactement bouchées par le cylindre de bois. L'axe du cube se trouve ainsi bien coincider avec l'axe de l'héliostat, mais pour que cela ait lieu avec exactitude par rapport aux autres parties de l'appareil optique, le cube doit être construit avec un soin extrême. *Il ne faut donc jamais enlever l'héliostat du pied* QR, *ni essayer de déranger le pied* S *et la boite cubique. Cela est d'une grande importance.*

La lentille négative U est fixée sur la paroi ED du cube; le porte cliché V, l'objectif amplifiant X se trouvent dans une boîte séparée KO dont l'axe, perpendiculaire à l'axe de l'héliostat, est horizontal. Avant d'orienter l'appareil, *cette boîte* KO, *de même que le condensateur* H *et la glace* IJ *doivent être enlevés*, le condensateur remplacé par le carton à ouverture concentrique dont nous avons parlé plus haut.

Orientation de l'appareil. — L'appareil s'oriente du reste *exactement* comme nous l'avons dit page 248, soit préliminairement à l'aide du fil à plomb, soit plus précisément en se servant du temps vrai marqué par le cercle horaire et de la déclinaison du soleil le jour où l'on oriente l'appareil.

Quand le miroir obéit bien exactement au soleil en tenant son image immobile sur sa pinnule X (page 242) il faut procéder à l'ajustement du miroir JI, et avant de le faire, ajuster la boîte KP après avoir fixé solidement le pied QR au sol, soit en le couvrant de blocs de pierre, soit en le vissant au sol à l'aide de boulons.

Mettez l'héliostat en marche, et réfléchissez les rayons solaires sur le carton H de manière que vous voyez une ligne circulaire

21

de lumière sur le trou fait dans la paroi CD du cube de bois. Fermez alors les vis de l'héliostat et voyez au bout d'une demi heure si les rayons solaires réfléchis à travers l'ouverture du carton gardent bien leur place, ce qui aura lieu avec une surprenante exactitude si l'héliostat est bien orienté. Et, si cela n'avait pas lieu examinez bien si vous n'avez pas oublié de fermer une des vis de l'héliostat, ou mal engrené le mouvement d'horlogerie, etc., et recommencez même l'orientation en n'oubliant pas que l'heure très-exacte est nécessaire pour cet objet.

Mais quand les rayons solaires réfléchis se tiennent bien immobiles sur l'ouverture de la paroi CD, alors introduisez la lentille H, couvrez-la du carton circulaire qui la limite à sa partie centrale, puis introduisez le miroir IJ préalablement bien nettoyé, entre les équerres qui servent à le maintenir suivant la diagonale du cube et voyez si l'image ronde de l'ouverture du carton H se dessine bien au milieu de l'objectif amplifiant, sans, bien entendu, arrêter la marche de l'héliostat.

Si cela n'a pas lieu il faut avec un soin extrême rectifier la position du miroir IJ en déplaçant les équerres de bois qui sont faites exprès dans ce but, et cela sans secousses ni chocs qui pourraient déranger l'appareil (c'est pour cela qu'il faut préalablement en fixer le pied au sol) et sans arrêter la marche de l'héliostat. Quand enfin cet ajustement est fait, mettez le couvercle CDEB.

Maniement de l'appareil. — L'appareil est désormais prêt à fonctionner. Et pour cela il suffit à une heure quelconque et à quelque jour de l'année que ce soit, de diriger les rayons solaires dans l'appareil jusqu'au moment ou l'image solaire se forme au centre de l'objectif exactement comme nous l'avons dit page 250. Quant au maniement des pièces constituant l'appareil optique, il est maintenant en tout semblable à l'appareil horizontal dont nous avons fait la description page 216 et qu'il faut revoir. Le cliché amplifiant se place en V dans le cône de rayons solaires, l'objectif X sert à la mise au point, le verre vert Y sert d'obtura-

teur. Des verres verts glissent entre les rainures KL, PO, etc.

Emplacement de l'appareil. — La baraque qui doit couvrir l'appareil peut être faite en bois ou en maçonnerie. Les figures 1 et 2 de la planche V en donnent une représentation très-exacte faite au vingtième de la dimension réelle.

En voici la description :

ACDB bâtiment en bois dont la longueur AC est de 5 mètres, la largeur AB 1 1/2 mètre, CD 3 à 3 1/2 mètres, la hauteur OD 2 1/2 mètres, celle OZ du toit 1 mètre, les côtés CD, AB, étant placés exactement dans le méridien (1), et le côté AC leur étant perpendiculaire. L'ouverture *abcd* qui donne passage à l'héliostat GL, a pour dimensions :

$$ab = 1\ {}^1/_4 \text{ mètre.}$$
$$bc = 2 \text{ mètres.}$$

Cette ouverture se ferme par des volets latéraux HI, KJ mobiles à charnières et un couvercle P en bois couvert de zinc, dont le jeu est analogue à celui représenté Pl. IV, fig. 5.

EF est une droite parallèle à AC, qui figure l'axe de l'appareil optique G. Sur l'axe de cette droite se trouve le châssis à épreuves MN dont la construction est identique au dessin fig. 6, Pl. II, sauf qu'il faut tenir le centre de figure de ce châssis à la hauteur au-dessus du sol de l'objectif amplifiant de l'appareil.

Le côté BD doit faire avec les côtés AB, DC un angle d'au moins 15 degrés, car si ce côté était parallèle au côté opposé AC de la baraque, l'image projetée par l'appareil L tomberait sur cette paroi. Si cependant on veut bâtir la pièce ABCD rectangulaire, alors les parois CD, AB, au lieu de se trouver dans le plan du méridien, feront avec ce dernier un angle de quelques degrés. L'appareil sera alors placé comme le représente la fig. 3 (2).

On ferme en tous cas l'ouverture *abcd* avec des rideaux qui enve-

(1) Voyez à cet égard ce que nous avons dit page 248.

(2) Dans ce cas, le mur CB se trouvera dans la direction de l'ombre du fil à plomb à 1 heure de l'après-dinée. Les dimensions de cette chambre seront : BC=3m ; AB=4 ; l'ouverture DE, etc., pareille à celle des fig. 1 et 2.



loppent la boîte cubique de chêne et le pied de l'appareil, rideaux mobiles que l'on doit pouvoir ouvrir facilement, afin qu'au moment où l'on envoie les rayons solaires de l'héliostat dans l'appareil optique, celui-ci puisse être vu de la personne qui dirige l'héliostat.

CHAPITRE XII.

APPAREIL A LUMIÈRE SOLAIRE PARALLÈLE DE M. BERTSCH (1).

M. **Bertsch** trouve aux appareils de **Woodward** les défauts que nous avons signalés, et, pour les éviter, il a

(1) Une comparaison minutieuse a été faite par l'auteur de cet ouvrage entre l'appareil de Woodward de petite dimension (dont le condensateur n'avait pas plus de 4 pouces de diamètre) et l'appareil de M. Bertsch, dans le but de se convaincre si en réalité la lumière parallèle était à préférer à la lumière convergente dans l'éclairage du cliché à agrandir. Cette comparaison a fait voir que si l'objectif amplifiant de l'appareil Woodward est construit sur les bases que nous avons exposées en parlant de cet objectif, aucune différence dans les résultats ne peut être aperçue entre les images amplifiées fournies par les deux appareils.

L'appareil de M. Bertsch comparé, toujours avec un soin extrême et dans un grand nombre d'expériences, à l'appareil dyalitique dont le diamètre du condensateur n'avait pas moins de 20 pouces de diamètre, n'a pas donné de meilleurs résultats, au contraire, le temps considérable exigé par cet appareil (celui de M. Bertsch) pour imprimer l'épreuve, tendant à amener un certain trouble dans l'image par suite des déplacements inévitables du sol et des pièces qui supportent les appareils. Mais pour faire ces expériences on s'est arrêté dès que l'image optique avait laissé une trace légère sur les surfaces photographiques, suffisante pour juger de la netteté de l'image, et nous avons ainsi pu nous convaincre que la lumière convergente, convenablement employée, donnait d'aussi bons résultats que la lumière parallèle et possédait en outre l'avantage d'une intensité infiniment plus considérable.

Cette intensité, que M. Bertsch cherche à contester (Bareswill et Davanne, *Chimie photographique*) en disant que l'épaisseur des condensateurs absorbe une quantité très-grande de la lumière incidente ce qui ôte aux grands condensateurs le bénéfice que leur surface pourrait faire espérer, est telle qu'il faut à l'appareil de M. Bertsch 40 fois plus de temps pour imprimer une épreuve d'un cliché que l'appareil de Woodward dont le condensateur a

construit un petit appareil dans lequel le condensateur est supprimé, le cliché étant traversé par les rayons solaires directs.

La figure 87 représente l'appareil. Le miroir B reçoit deux

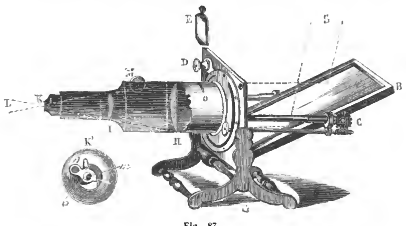


Fig. 87.

mouvements à l'aide d'un bouton D et d'une vis C de manière à amener les rayons du soleil S dans l'axe de l'instrument. Ce porte-lumière est fixé dans le volet d'une chambre bien obscurcie. Le cliché, qui ne peut avoir plus de 8 cent. de côté, est fixé dans un cadre E et introduit dans une rainure O. Les deux

---

19 pouces de diamètre. La vérité est que l'intensité de la lumière donnée par les condensateurs est approximativement proportionnelle au carré de leurs diamètres, ce que la loi d'absorption dont nous avons parlé page 23, explique suffisamment.

Le peu d'intensité que donne l'appareil de M. Bertsch a engagé cet auteur à tirer du négatif à agrandir un petit positif par transparence, à agrandir ensuite ce dernier en un cliché dont on tirerait alors des épreuves positives au châssis-presse. Nous parlerons tout-à-l'heure de cette méthode qui est peu peu pratique et qui surtout donne des épreuves infiniment moins nettes que la méthode d'agrandissement direct du négatif en positif sur papier.

En somme, l'appareil de M. Bertsch donne des épreuves d'une grande netteté, cela est certain, mais suivant nous cela est dû, non pas au parallélisme des rayons solaires qui éclairent le cliché, mais l'absence de toute aberration dans cet éclairage, aberration dont nous avons signalé les facheux effets en parlant de la théorie de l'appareil de Woodward.

lentilles achromatisées H et I pouvant se rapprocher ou s'éloigner du cliché à l'aide de la crémaillière M, forment l'image sur un écran convenablement distant. Un diaphragme K termine l'instrument et est placé au foyer principal de l'objectif H I, ce qui éloigne la lumière diffuse.

Ce diaphragme K, représenté séparément en K', porte une lame mobile percée de deux ouvertures *m* et *n*, la première ouverte, la seconde fermée par un verre jaune qui permet d'arrêter l'action photogénique de l'appareil au moment où on le désire.

L'appareil de M. **Bertsch** serait meilleur au point de vue mécanique, si le porte-miroir était séparé de l'appareil optique, car le vent, le mouvement de la main font vibrer le miroir et par suite l'appareil optique, et détruisent souvent ainsi la netteté de l'image agrandie.

CHAPITRE XIII.

AGRANDISSEMENT PAR VOIE INDIRECTE, AU SOLEIL OU A LA LUMIÈRE DIFFUSE.

Infériorité de cette méthode sur la méthode directe. — Ainsi que nous venons de le dire, beaucoup de personnes, argumentant l'absence fréquente du soleil dans les climats du nord et la nécessité dans laquelle le photographe de profession se trouve souvent d'employer d'anciens clichés dont l'intensité est trop grande pour pouvoir être agrandis par la chambre solaire, préfèrent reproduire ce négatif en un positif par transparence dont ils règlent l'intensité à leur volonté et qu'ils agrandissent ensuite en un négatif dont ils tirent alors autant de positives sur papier qu'ils le désirent.

Évidemment on perd ainsi beaucoup de la netteté du négatif original, car en tire-t-on le positif par contact au collodion sec ou

à distance par la chambre noire, on perd déjà de la finesse dans cette reproduction (mais moins en opérant à distance à l'aide de la chambre noire que par contact). Secondement, dans le fait de l'agrandissement de ce positif en grand négatif on perd encore de la finesse surtout si l'on opère à la lumière diffuse (voyez page 199, ligne 6 et suiv.). Ajoutons qu'on réunit dans le grand négatif les taches et défauts du négatif original, du positif et enfin du dernier négatif lui-même. Il est donc fort difficile d'obtenir avec cette méthode des épreuves positives agrandies qui ne doivent pas être fortement retouchées.

Quoi qu'il en soit, cette méthode peut s'appliquer l'hiver alors que l'absence du soleil la rend indispensable. On la réalise de deux manières, soit à l'aide de l'appareil d'agrandissement lui-même qui offre pour cet objet la disposition la plus commode, soit à l'aide d'une chambre noire et d'un bon objectif ordinaire.

Traduction du négatif original en positif par transparence. — Le porte-miroir de l'appareil et ce dernier lui-même étant disposé de la manière que nous avons décrite, on place le miroir de telle sorte qu'il réfléchisse la lumière *diffuse* provenant du zénith sur le cliché que l'on place à la manière ordinaire dans le porte-clichés. S'il fait du soleil, on dirige la lumière solaire dans l'appareil, en plaçant entre le condensateur et le cliché à agrandir et à 10 cent. de celui-ci un verre finement dépoli ou un papier huilé. *L'objectif doit être retourné* c'est-à-dire que la lentille la plus petite de diamètre doit regarder le négatif à agrandir. De plus il faut le munir du plus petit des diaphragmes qui l'accompagnent. Enfin, appliquez contre l'objectif l'ouverture circulaire d'une petite chambre noire quart de plaque, et reproduisez du négatif à agrandir un petit positif par transparence qui doit être tout au plus du format de 8 cent. sur 6, quelle que soit la dimension du négatif original (que nous supposons toutefois plus grande que 8 cent. sur 6). Ce positif doit du reste offrir tous les caractères d'un cliché destiné à l'agrandissement, c'est-à-dire absence de voile et d'intensité.

On peut du reste tout aussi bien se passer de l'appareil d'agrandissement, placer le négatif original contre une fenêtre et le reproduire en format carte à l'aide d'un bon objectif ordinaire (le triplet convient le mieux) et d'une chambre noire ordinaire, mais généralement l'emploi de l'appareil d'agrandissement est plus commode parce que le miroir permet de renvoyer sur le cliché la lumière du ciel sur lequel il se projette.

La méthode qui consiste à appliquer une glace au collodion sec sur le négatif dans un châssis-presse ordinaire, et d'obtenir ainsi, après le développement, un positif par transparence, est beaucoup moins bonne que la précédente, attendu que les surfaces sont sujettes à s'érailler, ne s'appliquent pas complètement l'une sur l'autre à cause de leur manque de planimétrie, et enfin parce que l'on n'est pas maître de donner au positif la dimension la plus favorable qui est celle de la carte de visite.

Agrandissement du positif à l'aide de l'appareil d'agrandissement. — Placez-le comme vous le feriez d'un cliché dans l'appareil d'agrandissement, en employant l'objectif amplifiant, non plus dans une position renversée comme nous l'avons dit plus haut, mais dans sa position normale, celle que nous avons représentée fig. 4, Pl. II.

Servez-vous, soit de la lumière diffuse, soit de la lumière solaire, mais, dans ce dernier cas, afin d'atténuer l'excessive puissance de l'éclairage, interposez entre le condensateur et le miroir, 2, 3 et même 4 verres d'un bleu foncé qui absorbent une grande partie de la lumière solaire. N'interposez jamais, comme l'ont conseillé quelques personnes, un verre dépoli entre le condensateur et le positif à agrandir, ou, si vous le faites, munissez l'objectif amplifiant du plus petit de ses diaphragmes, tandis qu'au soleil transmis à travers des verres bleus, vous pouvez employer des diaphragmes plus grands et même pas du tout, sans que sa finesse en soit changée (1).

---

(1) La lecture de la page 199 fera comprendre ceci.

L'image du positif à agrandir doit être projetée sur une surface de collodion sensibilisé, soit sec, soit humide. On peut aussi opérer sur papier ciré, mais la durée de l'opération est beaucoup plus longue et l'est trop, quand on opère sans soleil.

Il est bon, surtout quand on opère au collodion humide, d'attacher un soufflet conique à l'objectif amplifiant et au châssis à glace qui porte la surface de collodion, afin de préserver celle-ci de toute lumière autre que celle qui provient de l'image agrandie.

La mise au point de l'image agrandie se fait avec une netteté beaucoup plus grande au soleil qu'à la lumière diffuse et la rapidité de l'impression est nécessairement beaucoup plus grande. Le plus souvent, même après avoir interposé les verres bleus dont nous avons parlé, le temps de pose est pour ainsi dire instantané, tandis qu'à la lumière diffuse il est toujours de plusieurs minutes. Nous supposons ici l'emploi du collodion humide, le collodion sec et le papier ciré surtout exigeant un temps beaucoup plus long. Le négatif agrandi sert à tirer alors des positifs sur papier par la méthode ordinaire.

Agrandissement du positif à la chambre noire. — Placez le positif à agrandir bien verticalement contre une fenêtre qui reçoit le jour en plein, et, si le soleil donne sur cette fenêtre, placez le positif sur un verre dépoli en laissant entre les deux verres un espace d'un centimètre, afin que le grain du verre dépoli ne se reproduise pas sur le négatif agrandi.

Il est bon, afin d'éviter les reflets dans la chambre noire, de placer autour du positif une bande de papier noir de 20 cent. de largeur, ou mieux de le placer dans un châssis en bois, fait exprès, dont on réunit les bords à ceux de la chambre noire par une étoffe noire qui éloigne ainsi toute lumière diffuse qui n'a point traversé le dit positif.

A présent disposez *un triplet* de 15 à 20 cent. de distance focale sur une chambre noire à soufflet, dont la dimension soit appropriée à celle du négatif agrandi que vous désirez obtenir et d'une longueur convenable, et faites en sorte que le centre du

positif à agrandir soit situé sur l'axe optique du triplet, sa surface étant bien perpendiculaire à cet axe. *Renversez le triplet dans sa monture* de sorte que la lentille la plus grande regarde le positif à agrandir, et mettez maintenant au point en éloignant le verre dépoli de l'objectif en même temps que vous règlez la distance de ce dernier au positif de manière à obtenir nette son image agrandie sur une surface de grandeur déterminée.

Le reste des opérations se fait à l'ordinaire en se servant du collodion humide.

Cette méthode, très-ancienne du reste, a donné de très-bons résultats entre les mains de M. **Verneuil**, photographe français, qui, dans le courant de l'année 1865, a présenté à une séance de la *société française de photographie* des épreuves agrandies très-belles obtenues à l'aide de ce procédé.

CHAPITRE XIV.

APPLICATION DE LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE AUX APPAREILS D'AGRANDISSEMENT.

Nécessité d'une lumière très-éclatante à très-petite surface. — S'il suffisait d'une forte *quantité* de lumière pour éclairer le cliché dans l'appareil d'agrandissement, on arriverait aisément à ce but à l'aide de flammes à très-grande surface. Mais il faut que le cône des rayons solaires émergeant du condensateur de l'appareil optique ait pour sommet une très-petite surface, parce que l'objectif amplifiant situé au sommet de ce cône n'a lui-même qu'une petite surface. De plus si le sommet du cône lumineux frappe les bords de la monture de l'objectif amplifiant, il y a, ainsi que nous l'avons exposé pages 189 et suiv., production de bourrelets de diffraction dans l'image agrandie. Un de nos amis, M. ***A. Neyt***, de Gand, a fait à cet égard des expériences fort concluantes en se servant de la lumière électrique et de la

lumière **Drummond** comme source d'éclairage, d'un magnifique microscope solaire d'**Hartnack**, à lumière convergente ou parallèle (comme le préconise M. **Bertsch**), et il a vu que chaque fois que le point lumineux avait une surface trop grande, que par conséquent son image frappait les bords des objectifs amplifiants, il y avait production de bourrelets de diffraction dans l'image grossie, aussi bien par l'emploi de la lumière parallèle que par celle de la lumière convergente, même en se servant de condensateurs achromatiques tel que l'était, du reste, celui du microscope dont il se servait.

Des flammes qui possèdent donc un pouvoir photogénique considérable, telles que le cyanogène, la lampe électrique à mercure (**de Way**) les flammes de Bengale blanches à l'arsenic, l'antimoine, l'azotate de magnésie, les lampes à pétrole et même les lampes à fil de magnésium, ne conviennent point pour l'agrandissement photographique.

Les flammes à très-petite surface qui conviennent surtout sont : la lumière électrique produite entre les cônes de charbon et la lumière **Drummond** dans laquelle le cylindre de chaux est remplacé par un cylindre de magnésie compacte.

La lumière électrique doit être produite à l'aide de 50 éléments Bunsen, grand modèle, et la lampe électrique d'une exécution très-parfaite qui maintienne bien le point lumineux sur l'axe de l'appareil optique. Car si ce point venait à se déplacer, non seulement l'image agrandie se déplacerait d'une très-petite quantité due à l'épaisseur des lentilles qui constituent l'objectif amplifiant, mais de plus il pourrait se produire des bourrelets de diffraction, deux causes qui altéreraient la netteté de l'image grossie.

Les meilleurs modèles de lampe électrique sont ceux de M. **Serrin** et de M. **Léon Foucault**, surtout le dernier, qu'on peut se procurer chez M. **Dubosq**, fabricant d'instruments de physique à Paris, qui, croyons-nous, est chargé par l'inventeur de la construction de cette lampe.

Quant à la lumière **Drummond** tout le monde la connait.

Un cylindre pointu de chaux dont la pointe est chauffée à blanc par un dard enflammé de gaz oxy-hydrogène donne un point lumineux très-éclatant. Si l'on substitue au cylindre de chaux un cylindre de magnésie compacte (obtenue par la calcination en creusets clos du nitrate de magnésie) le point lumineux, sans être plus éclatant à l'œil, est beaucoup plus photogénique, ce qui probablement est causé par des particules de magnésie qui donnent à la flamme les propriétés de celle du magnésium brûlant lui-même.

Au lieu de magnésie compacte. M. le Prof. ***Carlevaris***, de Gênes, se sert de magnésie poreuse, et applique cette lumière avec succès à un de nos appareils d'agrandissement de 8 pouces. Il assure avoir fait ainsi des épreuves agrandies de 1 mètre carré de surface en moins d'une minute. Probablement sur papier ioduré humide et par développement, comme le fait, à Paris, M. ***Numa blanc***, avec la lumière électrique, en un temps beaucoup plus considérable.

Enfin, une méthode qui surpasse toutes les autres consiste à lancer le gaz oxy-hydrogène sous une forte pression (d'au moins un mètre d'eau), par un petit chalumeau de platine de manière à obtenir un dard de 4 à 5 cent. de long sur la pointe d'un de ces petits parallèlipipèdes de charbon dur dont on se sert dans la lampe électrique, lequel charbon l'on humecte de chlorure de magnésium. C'est de toutes les lumières la plus puissante au point de vue photographique et la plus économique. Cette pointe lumineuse, de même que le point lumineux de la lampe électrique, doit être maintenu avec soin dans l'axe optique de l'appareil d'agrandissement pour éviter que l'image agrandie ne manque de netteté, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Disposition de l'appareil optique. — Si l'on se servait d'un réflecteur parabolique pour renvoyer la lumière du point éclairant sur le condensateur de l'appareil, l'image du support de ce point serait visible par voie d'ombre sur l'image agrandie.

En effet, collez un pain à cacheter *a* (fig. 14, Pl. I) sur le condensateur L d'un appareil d'agrandissement ou d'un micros-

cope solaire et l'image du pain à cacheter, invisible au foyer *f* du condensateur devient *très-nettement* visible en avant *b* ou en arrière *c* de ce foyer. Or, le support du point lumineux, interceptant une partie des rayons parallèles renvoyés par le miroir parabolique, fait ici le même effet d'écran opaque que le pain à cacheter.

Voici une disposition, qui, si elle réunit moins de lumière sur le condensateur que le miroir parabolique, est exempte du défaut que nous venons de lui reconnaître.

Soit ABC (fig. 11, Pl. I) un miroir sphérique de verre à surfaces parallèles dont la surface ABC est argentée. Soit BI l'axe de ce miroir et D son centre de courbure, où nous plaçons le point lumineux D. Soit, sur le même axe IB la lentille plano-convexe *de flint* EG dont le diamètre est le même que celui du miroir AC, et dont la distance focale FD est exactement égale à DB, rayon de courbure du miroir AC.

Chaque rayon lumineux DA émanant du point lumineux D et qui frappe le miroir AC revient, suivant AD, continue son chemin, frappe la lentille EG, dont il émerge parallèlement à l'axe. De même chaque rayon DE qui émane du point lumineux D et qui frappe la lentille, émerge parallèlement au premier et à l'axe. De cette façon, le support DK n'est nullement visible sur l'image agrandie.

Voici les données numériques de ce système, dans lequel nous nous servons de flint dont l'indice de réfraction est 1,6 au lieu de crown de 1,5 pour éviter une trop grande épaisseur de la lentille EG qui doit avoir une distance focale aussi courte que possible et égale au rayon de courbure BD du miroir ABC. R est le rayon de courbure du miroir AC, μ son épaisseur, D son diamètre, R' le rayon de courbure de la lentille EG (l'autre face étant plane).

D	R	μ	R'
216 millimètres	25 centimètres	4 mill.	15 cent.
380 »	45 »	6 »	27 »
515 »	60 »	8 »	36 »

Ces données suffisent à tout opticien pour construire de pareils appareils sur le désir du lecteur. Elles concordent du reste avec les dimensions les plus usitées des condensateurs qui sont 19 pouces (513 mill.) 14 pouces (380 mill.) et 8 pouces (216 mill.).

Cet appareil s'installe sur l'axe même de l'appareil d'agrandissement dont la partie optique LM et le maniement restent en tous points pareils à ce que nous avons dit à propos de ces appareils. Le diamètre de la lentille EG doit être égal à celui du condensateur L que l'on place du reste aussi près que possible de cette lentille.

Choix du procédé photographique. — Le point lumineux de la lumière artificielle étant infiniment moins intense que le soleil, on ne peut pas penser à appliquer à l'agrandissement à l'aide de cette lumière artificielle les procédés ordinaires du papier albuminé ou chloruré simple. Il faudrait pour cela faire durer l'impression de l'image des journées entières. Le papier préparé à la nitro-glucose (1), procédé que nous avons décrit dans le Bulletin de la Société française de photographie, année 1865, page 145, exige en moyenne une heure d'exposition pour un format d'image agrandie de 50 cent sur 60. Le papier préparé à l'iodure de potassium et à l'arrow-root, sensibilisé dans un bain d'acéto-nitrate d'argent, employé immédiatement, et humide par conséquent, donne par le développement, des épreuves en 10 ou 12 minutes, mais beaucoup moins belles de ton que celles obtenues par le papier à la nitroglucose.

M. **Vilette**[2] obtient de fort belles épreuves positives d'un petit cliché en projetant l'image agrandie sur une surface de collodion qu'il transporte alors sur papier. Il se sert de la lumière artificielle (lumière **Drummond**) et d'un appareil optique semblable à celui que nous avons décrit plus haut, appareil

(1) On le trouve à Paris chez Romain Talbot, 50 rue d'Enghien.

(2) *Bull. Soc. fr. de phot.* page 149, année 1865.

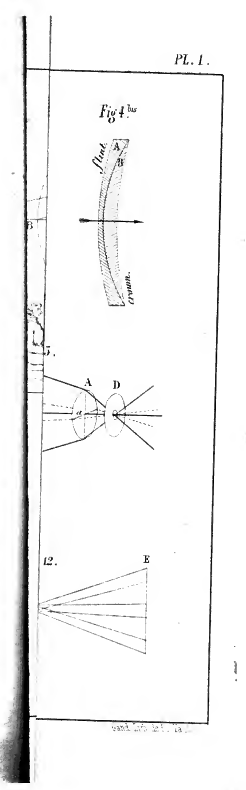
construit par M. **Dubosq**, à Paris. La durée de l'exposition est de une minute pour une épreuve grandie de 60 cent. sur 50.

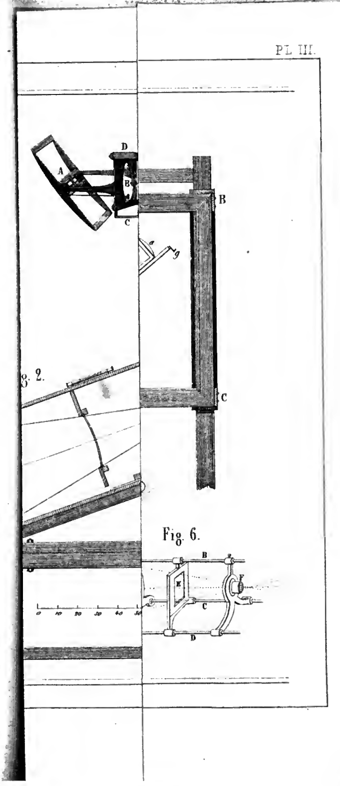
Malheureusement le procédé de transport du collodion sur papier exige une très-grande pratique. Mais les épreuves produites par M. **Vitette**, épreuves que nous avons vues du reste, sont d'un beau ton noir imitant celui de la gravure et nécessairement très-fines, puisque l'appareil optique est très-parfait.

Au reste, pour finir, disons que l'application de la lumière artificielle aux agrandissements est surtout avantageuse pour agrandir de petits positifs par transparence en grands négatifs, ainsi que nous l'avons décrit au chapitre précédent.

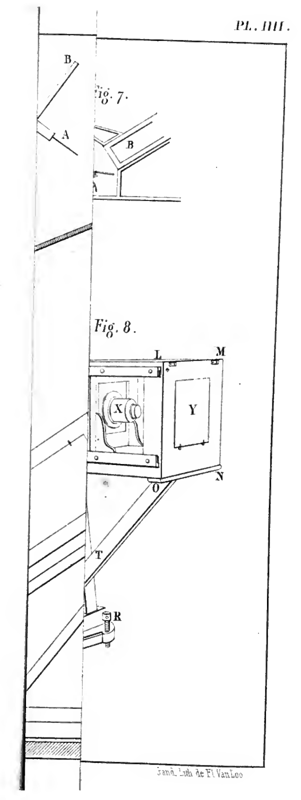
FIN.

PL. 1.

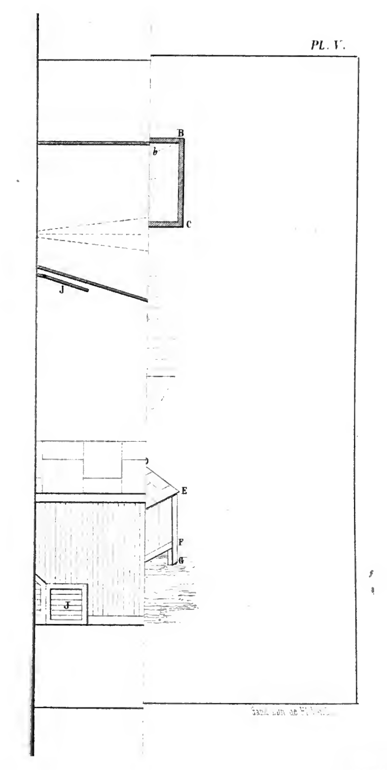




A
B
C
D
B
C
a
g
8. 2.
Fig. 6.
B
E
F
C
D
0
10
20
30
40
50



Gand. Lith de Fl Van Loo


B
b
C
J
D
E
F
G
J







